



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROYECTO FINAL DE CARRERA

<b>TÍTULO:</b>	DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAJE DE PUROS HABANOS CONTROLANDO TEMPERATURA Y HUMEDAD MEDIANTE TERMoeLECTRICIDAD
<b>AUTOR:</b>	MIGUEL ANGEL ROQUE SERRANO
<b>TITULACIÓN:</b>	INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIONES, ESPECIALIDAD EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS
<b>DIRECTOR:</b>	ANTONIO MIGUEL LÓPEZ MARTINEZ
<b>DEPARTAMENTO:</b>	INGENIERÍA ELECTRÓNICA (710)

**TÍTULO:** DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAJE DE  
PUROS HABANOS CONTROLANDO  
TEMPERATURA Y HUMEDAD MEDIANTE  
TERMoeLECTRICIDAD

**APELLIDOS:** ROQUE SERRANO      **NOMBRE:** MIGUEL ANGEL  
**TITULACIÓN:** INGENIERÍA TÉCNICA DE TELECOMUNICACIONES  
**ESPECIALIDAD:** SISTEMAS ELECTRÓNICOS      **PLAN:** 95

**DIRECTOR:** ANTONIO MIGUEL LÓPEZ MARTINEZ  
**DEPARTAMENTO:** INGENIERÍA ELECTRÓNICA (710)

**TRIBUNAL**

<b>PRESIDENTE</b>	<b>SECRETARIO</b>	<b>VOCAL</b>
Jaime Miret Tomas	José Antonio Soria	Israel Martin Escalona

**FECHA DE LECTURA:**

Este Proyecto tiene en cuenta aspectos medioambientales:    ☒ Si    ☐ No

## PROYECTO FINAL DE CARRERA

### RESUMEN (máximo 50 líneas)

El objetivo de este proyecto es diseñar una cava para puros, controlando tanto temperatura como humedad mediante un sistema diferente al que se comercializa habitualmente. Se utilizará células termoeléctricas (Peltier) en vez de sistemas por compresión que utilizan gases contaminantes. Además se reduce considerablemente el ruido.

Para la humedad se utilizará un sistema exterior al habitáculo de la cava. En la actualidad se suele utilizar un humidificador dentro de cava. Incluso se desarrolla un sistema para regular la humedad en el caso de que suba demasiado en el habitáculo cosa que no es habitual en el mercado.

Inicialmente se realiza una explicación del funcionamiento de las células termoeléctricas (Peltier). En el proyecto se comentan los materiales elegidos para el diseño por sus características, de bajo coste y sin ningún tipo de producto químico que sea nocivo para el puro.

Para estructurar el sistema se calculan los parámetros de los diferentes elementos que constituyen el habitáculo junto con el control. Una vez diseñado y realizado el sistema se observa el funcionamiento con el software PICO-LOG.

Y por último se realiza un presupuesto de los costes de los materiales utilizados para desarrollar el sistema.

### Palabras clave (máximo 10):

Peltier	Temperatura	Humedad	Humidificar	Deshumidificar
Refrigerar	Sensor	Pico-Log	Seebeck	Cava

<b>1. INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL P.F.C.....</b>	<b>7</b>
1.1 Objetivos del P.F.C.....	7
1.2 Justificación del P.F.C.....	7
<b>2. INTRODUCCIÓN A LA TERMoeLECTRICIDAD.....</b>	<b>9</b>
2.1 Efectos termoeléctricos .....	10
2.1.1 Efecto Seebeck .....	10
2.1.2 Efecto Peltier.....	11
2.1.3 Efecto Thomson .....	13
2.1.4 Efecto Joule.....	14
2.1.5 Efecto de la conducción interna.....	14
<b>3 EL DISPOSITIVO TERMOELÉCTRICO TEC.....</b>	<b>17</b>
3.1 Descripción general.....	17
3.2 Funcionamiento del TEC .....	18
3.3 Balance energético.....	22
3.4 Balance térmico.....	23
3.5 Modelo matemático de los módulos termoeléctricos.....	24
3.5.1 Cálculos del comportamiento del módulo termoeléctrico .....	24
3.5.2 Otras características de los modelos termoeléctricos .....	27
3.5.3 Comparación entre la máquina frigorífica de compresión y los módulos termoeléctricos .....	29
3.6 Ejemplo de elección de una célula de Peltier.....	33
3.6.1 Variables iniciales.....	33
3.6.2 Método de ratios.....	33
<b>4. CONTROL DE HUMEDAD EN VOLUMEN CONSTANTE .....</b>	<b>41</b>
4.1 Estado higrométrico.....	41
4.2 Característica del aire húmedo .....	43
4.2.1 Humedad específica en saturación y punto de rocío.....	43
4.3 Sistemas de control de humedad.....	44
4.3.1 Humificadores y deshumificadores .....	44
4.3.2 Deshumidificadores basados en sistemas químicos.....	45
4.3.3 Deshumidificadores basados en la célula termoeléctrica .....	47

<b>5. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DEL REFRIGERADOR.....</b>	<b>50</b>
5.1 Configuración general.....	50
5.2 El habitáculo.....	51
5.3 El subsistema de refrigeración termoeléctrico.....	52
5.4 El subsistema de humidificación.....	57
5.4.1 Interacción con la cámara de refrigeración.....	58
5.5 Modelo eléctrico equivalente de la cámara de refrigeración.....	59
5.6 El subsistema de deshumidificación.....	61
5.6.1 Interacción con la cámara de refrigeración.....	62
<b>6 EL SISTEMA DE CONTROL ELECTRÓNICO.....</b>	<b>65</b>
6.1 Diagrama de bloques del control electrónico.....	66
6.2 El controlador ALTEC basado en microcontrolador.....	69
6.3 Los dispositivos de sensado.....	75
6.3.1 Dispositivos sensores de temperatura.....	75
6.3.2 NTC utilizada.....	79
6.3.3 Dispositivos sensores de humedad. Analógicos y digitales.....	79
6.3.4 El dispositivo utilizado.....	84
6.4 La fuente de alimentación conmutada.....	86
6.5 Inversor de tensión.....	92
6.6 Circuito Ajuste de humedad.....	94
<b>7 CÁLCULO DEL SISTEMA PROPUESTO.....</b>	<b>96</b>
7.1 Cálculo de flujo de calor de la cámara.....	96
<b>8 RESULTADOS PRÁCTICOS.....</b>	<b>105</b>
8.1 Descripción de la instrumentación realizada.....	105
8.2 Evolución gráfica de la temperatura y la humedad.....	107
8.3 Medida de la potencia eléctrica consumida.....	112
8.4 Estimación del rendimiento.....	112
8.5 Costes de Fabricación:.....	115
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>117</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>119</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>123</b>



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAJE DE  
PUROS HABANOS CONTROLANDO TEMPERATURA  
Y HUMEDAD MEDIANTE TERMoeLECTRICIDAD

## Capítulo 1: Introducción al P.F.C

## **1. INTRODUCCIÓN: OBJETIVOS Y JUSTIFICACIÓN DEL P.F.C**

### **1.1 *Objetivos del P.F.C***

El objetivo de este proyecto se desarrolla en 3 partes:

En la primera parte se estudiará y diseñará una estructura (cava) en la cual se va a ubicar puros habanos. Se seleccionará los materiales para nuestro propósito y se calculará las dimensiones adecuadas del habitáculo.

En la segunda parte del proyecto se desarrollará el sistema electrónico de control, siendo una premisa importante el coste.

En la tercera parte se unirá las dos partes anteriormente mencionadas y se hará un estudio de los resultados obtenidos.

### **1.2 *Justificación del P.F.C***

A causa del gran crecimiento del uso de las energías renovables y la preocupación de la contaminación a todo tipo de escalas, ya sea local o mundial, se observa en el tema de la refrigeración en las cámaras que se utilizan compresores y sus respectivos gases refrigerantes que son nocivos para el medio ambiente, y se propone realizar este tipo de cámara con termoelectricidad, para evitar estos tipos de gases. Se mejora, así, las condiciones medioambientales y además se reduce considerablemente el ruido.



Escola Politècnica Superior  
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALMACENAJE DE  
PUROS HABANOS CONTROLANDO TEMPERATURA  
Y HUMEDAD MEDIANTE TERMoeLECTRICIDAD

## Capítulo 2: Introducción a la termoelectricidad



## 2. INTRODUCCIÓN A LA TERMoeLECTRICIDAD

La termoelectricidad es una rama de la termodinámica superpuesta a la electricidad que estudia los fenómenos de conversión de la energía eléctrica a calorífica y al contrario.

Un refrigerador termoelectrico, también llamado módulo termoelectrico o dispositivo termoelectrico, es un componente que funciona como una pequeña bomba de calor. Antes de estudiar su funcionamiento, hay que conocer algunos de los efectos termoelectricos que gobiernan estos dispositivos.

Las teorías físicas en las que se basa el funcionamiento de los refrigeradores termoelectricos datan desde principios del año 1800, aunque los dispositivos comerciales no han sido disponibles hasta el año 1960.

El primer descubrimiento importante en el campo de la termoelectricidad sucedió el año 1821, cuando Thomas Seebeck descubrió que en un circuito cerrado formado por dos tipos diferentes de metales conductores, las uniones de los cuales mantiene una diferencia de temperatura, aparece una corriente eléctrica. Seebeck no supo justificar las bases científicas de su descubrimiento, y asumió, erróneamente, que la circulación del calor producía el mismo efecto que la circulación de la corriente eléctrica.

El relojero y físico francés Jean Charles Peltier descubrió, mientras investigaba el efecto Seebeck, que se producía un efecto inverso. Peltier observó que al circular una corriente por un circuito compuesto de dos conductores de materiales diferentes, los cuales las uniones están a la misma temperatura, una de las uniones absorbe y la otra unión la genera.

El matemático y físico británico William Thomson desarrolló, veinte años, después, la primera teoría que explicaba los efectos Seebeck y Peltier, y describió las relaciones entre los dos.

La refrigeración termoelectrica comenzó a ser factible el año 1930, a partir de los estudios de científicos rusos que intentaban construir generadores eléctricos para utilizarlos en lugares remotos a lo largo del país. Este interés en la termoelectricidad llamó la atención del resto del mundo, e inspiró el desarrollo de los dispositivos termoelectricos.

La aparición de nuevos materiales semiconductores permitió impulsar los refrigeradores termoelectricos, mejorando su rendimiento. Actualmente, estos dispositivos se utilizan en muchas aplicaciones (militares, telecomunicaciones, comerciales), gracias al hecho de no tener partes móviles ni usar gases contaminantes, y las ventajas que ofrecen sus medidas reducidas y su pequeño peso.

## 2.1 Efectos termoelectricos

Los efectos mencionados anteriormente, junto con otros fenómenos, constituyen la base del funcionamiento de los módulos termoelectricos. En este apartado se describen los efectos que intervienen en el comportamiento de estos dispositivos.

### 2.1.1 Efecto Seebeck

Este efecto fue descubierto por Johan Thomas Seebeck (1770-1831). Este físico alemán realizó experimentos muy importantes sobre la óptica y estudió los efectos energéticos de los rayos luminosos. En 1821 descubrió la termoelectricidad y ordenó los materiales conductores en series termoelectricas. El efecto Seebeck consiste en la generación de una fuerza electromagnética (f.e.m) mediante un circuito formado por dos metales de distinta naturaleza, las uniones las cuales se mantienen a temperaturas distintas. Este efecto constituye el fundamento de los pares termoelectricos.

La figura 2.1 muestra un circuito de termopares, formado por dos conductores de diferentes materiales, Material X y Material Y.

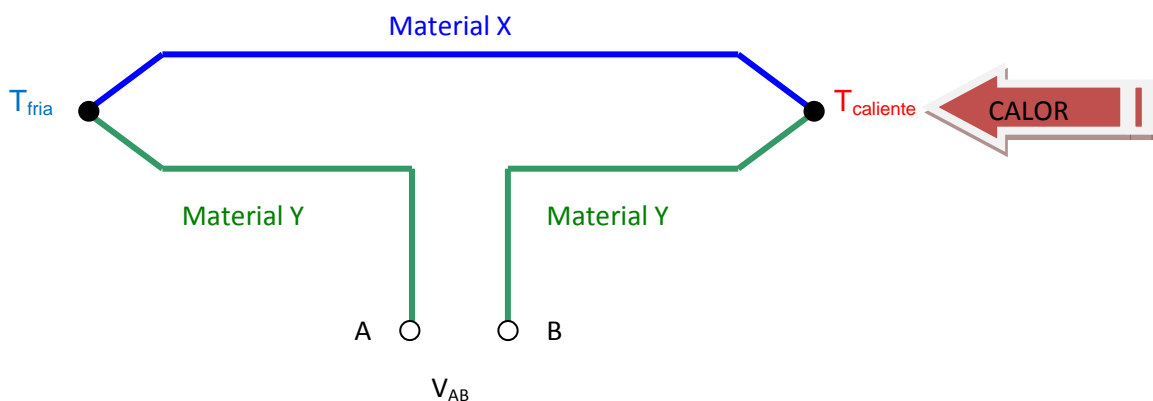


Figura 2.1. Circuito de termopares

En las aplicaciones de medidas de la temperatura, la unión correspondiente al terminal A, se suele utilizar como referencia, y se mantiene a una temperatura relativamente fría ( $T_{\text{fría}}$ ).

La unión correspondiente al terminal B, se utiliza para medir la temperatura de interés ( $T_{\text{caliente}}$ ). Si se aplica calor en esta unión, aparece una diferencia de tensión entre los terminales A y B, que se denomina fuerza electromotriz de Seebeck. La ecuación 2.1 muestra la expresión de esta diferencia de voltaje:

$$V_{AB} = \alpha_{xy} \cdot (T_{\text{caliente}} - T_{\text{fría}}) \quad \text{ecuación .2.1}$$

Donde:  $V_{AB}$ : Es el voltaje de salida en voltios

$\alpha_{xy}$ : Es el coeficiente de Seebeck entre los dos materiales, X y Y, en voltios.

$T_{\text{fría}}, T_{\text{caliente}}$ : Son las temperaturas fría y caliente de las uniones, en °K.

El coeficiente de Seebeck se define como la variación con la temperatura tal como muestra la ecuación 2.2:

$$\alpha_{xy} = \frac{\partial V_{AB}}{\partial T_{\text{fría}}} \quad \text{ecuación.2.2}$$

### 2.1.2 Efecto Peltier

Este efecto fue descubierto en 1843 por el relojero y físico francés Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845) mientras investigaba el efecto Seebeck.

El efecto Peltier consiste en que al circular una corriente entre dos metales conductores, se genera o se absorbe calor en la unión de los materiales, dependiendo de la corriente eléctrica.

Este efecto se considera como el inverso del efecto Seebeck y es reversible, ya que la unión se enfriará o se calentará según el sentido de la corriente aplicada.

La figura 2.2 muestra el circuito de termopares modificado de forma que se pueda observar el fenómeno del efecto Peltier.

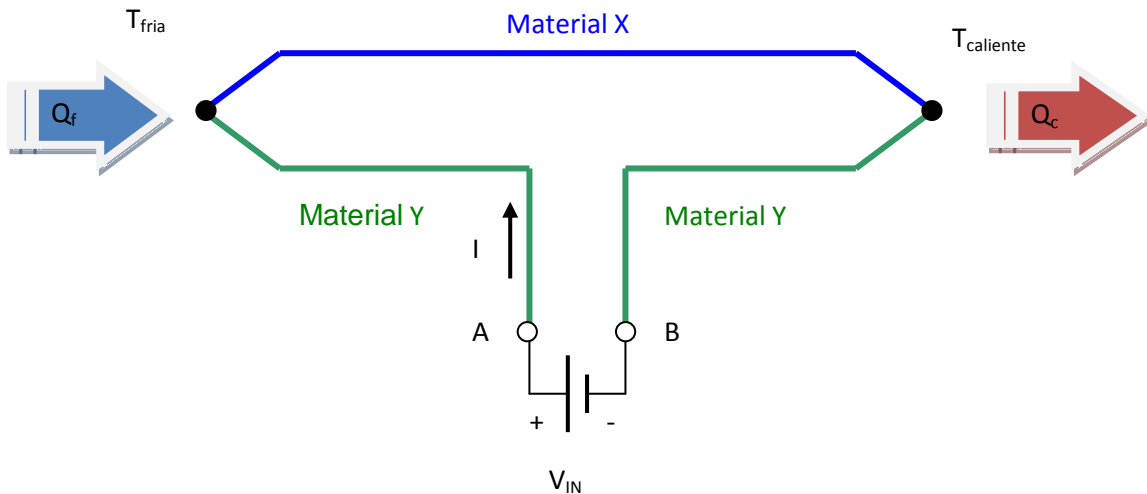


Figura 2.2. Circuito de termopares modificado.

Si se aplica un voltaje en los terminales A y B ( $V_{IN}$ ), circulará una corriente ( $I$ ) a través del circuito. Esta corriente eléctrica provoca que la unión correspondiente al terminal A absorba calor, y que por se enfría. La unión correspondiente al terminal B genera calor, y como consecuencia esta unión se calienta.

Si cambia el sentido de la corriente que circula por el circuito también cambiará el sentido de circulación del calor: la unión correspondiente al terminal B absorberá calor.

El efecto Peltier se puede expresar matemáticamente mediante la siguiente ecuación:

$$Q_p = \pi_{xy} \cdot I \quad \text{ecuación.2.3}$$

Donde:  $Q_p$ : Es la potencia calorífica generada o absorbida por el efecto Peltier.

$\pi_{xy}$ : Es el coeficiente Peltier entre los dos materiales, X y Y, en voltios.

$I$ : Es la corriente que circula por la unión expresada en amperios

### 2.1.3 Efecto Thomson

Este efecto fue descubierto por William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907). Este físico y matemático británico, profesor de la universidad de Glasgow y presidente de la Royal Society, desarrolló una teoría general de la termodinámica y introdujo la escala absoluta de temperaturas que lleva su nombre.

El efecto Thomson es un fenómeno que consiste en que al circular una corriente eléctrica por un conductor en el existe un gradiente de temperatura, el conductor genera o absorbe calor. El hecho de que se genere o absorba calor, dependerá de la dirección de la corriente eléctrica y del gradiente de temperatura.

La potencia calorífica generada o absorbida por unidad de volumen en el conductor se expresa según la siguiente ecuación:

$$Q_T = \tau \cdot J \frac{dT}{dx} \quad \text{ecuación.2.4}$$

Donde:  $Q_T$ : Es la potencia calorífica generada o absorbida por unidad de volumen debido al efecto Thomson.

$\tau$ : Es el coeficiente Thomson, expresado en  $W/A \cdot ^\circ K$ .

$J$ : Es la densidad de la corriente eléctrica que circula por el conductor.

$\frac{dT}{dx}$ : Es el gradiente de temperatura.

#### **2.1.4 Efecto Joule**

Este efecto fue descubierto por James Prescott Joule (1818-1889). Este físico británico realizó diferentes estudios sobre el equivalente calorífico de la energía mecánica y colaboró con Kelvin en el estudio del problema de la expansión de los gases. En 1841 enunció la ley conocida por el efecto Joule.

El efecto Joule consiste en la emisión de calor a lo largo de un conductor por el que circula una corriente eléctrica. Este calor se debe a la energía generada en los choques de los electrones con los átomos del conductor.

Joule descubrió que el calor generado es proporcional a la resistencia del conductor y al cuadrado de la intensidad de la corriente según la ecuación siguiente:

$$Q_J = \rho \cdot J^2 \quad \text{ecuación.2.5}$$

Donde:  $Q_J$ : Es la potencia calorífica generada por unidad de volumen debida al efecto Joule.

$\rho$ : Es la resistividad eléctrica del conductor.

$J$ : Es la densidad de corriente eléctrica que circula por el conductor.

El efecto Joule actúa en oposición al efecto Peltier y provoca una reducción total de la refrigeración disponible. Al contrario que en los anteriores efectos, el efecto Joule no es un efecto reversible.

#### **2.1.5 Efecto de la conducción interna**

Este efecto físico no se puede considerar como un efecto termodinámico, pero es un efecto que aparece en los dispositivos termoeléctricos y que actúa en contra de la refrigeración.

El efecto de la conducción interna consiste en la conducción del calor debido al choque con los átomos vecinos y el intercambio de los electrones del átomo. Esta conducción se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$W = \frac{K \cdot A \cdot (T_1 - T_2)}{S} \quad \text{ecuación.2.6}$$

Donde:

- W: Es el calor emitido por unidad de tiempo.
- K: Es el coeficiente de inducción del material.
- A: Área de sección perpendicular al paso del calor
- T1-T2: Es la diferencia de temperaturas.
- S: Distancia entre la cara fría i la cara caliente del dispositivo termoelectrónico.



## Capítulo 3: El dispositivo termoeléctrico: TEC



### 3 El dispositivo termoelectrico TEC

Una célula Peltier es un dispositivo electrónico de reducidas medidas que tiene la capacidad de bombear el calor, tanto caliente como frío, mediante el consumo de energía eléctrica.

A diferencia de otras bombas de calor, el TEC no tiene partes móviles ni utiliza gases contaminantes. Por tanto es un dispositivo que no genera ruidos ni vibraciones, y es ecológico. Estos dispositivos pueden bombear una potencia de calor comprendida entre mili vatios y los centenares de vatios.

Las aplicaciones de estos módulos pueden ser diversas y cubren una gran variante de áreas: militar, medicina, industria, telecomunicaciones, comercial, laboratorios y aeroespacial.

#### 3.1 Descripción general

El dispositivo termoelectrico TEC está formado por un conjunto de termopares, situados eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo, de tal forma que todos los termopares que absorban calor están a un lado de la placa y los que desprendan calor están situados al otro lado.

Las investigaciones hechas sobre estos dispositivos han determinado que para optimizar el efecto de bomba de calor, los mejores materiales para constituir los termopares son semiconductores de tipo P y N de forma cúbica. El material semiconductor más utilizado en los TEC's es el Telurio de Bismuto, dopado por exceso (tipo N) o el efecto bomba de calor, los mejores materiales para constituir los termopares son dopados por defecto (tipo P).

Un módulo termoelectrico está compuesto por dos o varias placas de cerámica separadas por los cubos de material semiconductor. Estas placas de cerámica sirven como soporte mecánico de la estructura del dispositivo y como aislante eléctrico entre los elementos de la célula y la superficie de montaje externa.

La figura 3.1 muestra una imagen de un módulo termoelectrico TEC y un dibujo que muestra las partes más significativas.

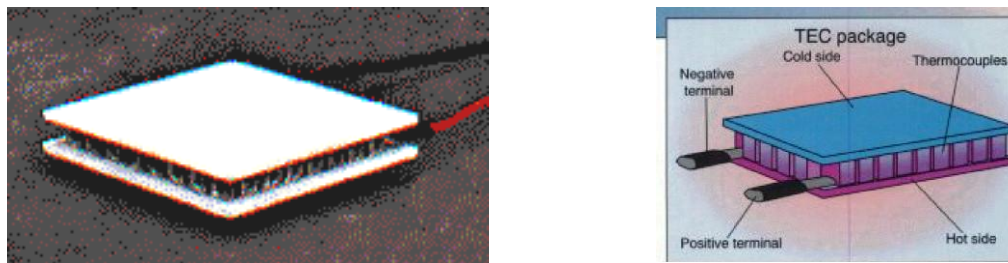


Figura 3.1. Módulo termoelectrico TEC.

Cuando se aplica un generador de tensión continua a un módulo TEC, el calor se transmite a través del dispositivo desde una cara hasta la otra. El calor existente en una de las caras (cara fría) se extrae y se bombea a la otra cara (cara caliente). Por tanto, la temperatura de una de las caras disminuye mientras que la temperatura de la otra cara aumenta.

El efecto de las células Peltier es reversible. El sentido de la corriente eléctrica aplicada determinará si en una cara en concreto será la cara caliente o la fría. De esta manera, este tipo de dispositivo se puede utilizar tanto per calentar como para enfriar y es muy adecuado para aplicaciones de control de temperatura.

### 3.2 *Funcionamiento del TEC*

Los refrigeradores termoelectricos y los mecánicos están gobernados por las mismas leyes termodinámicas. Los dos sistemas funcionan con los mismos principios, pero de una forma muy diferente.

En el caso de un refrigerador mecánico, el compresor aumenta la presión del refrigerante, condensa el gas en líquido, y hace circular el refrigerante por todo el sistema. En el evaporador, el refrigerante, pasa de líquido a vapor, con lo cual absorbe el calor y de esta manera disminuye la temperatura que estamos enfriando.

En un sistema de refrigeración termoelectrica, el material semiconductor dopado realiza la función de refrigerante y el compresor se substituye por una fuente de alimentación continua.

La aplicación de la tensión continua provoca que los electrones se muevan a través del material semiconductor. En la cara fría del material semiconductor, el calor se absorbe debido al movimiento de los electrones y se traslada a la otra cara.

Como se ha comentado antes, un módulo termoeléctrico está formado por uniones de semiconductores tipo P y N. Un semiconductor tipo N está dopado para que tenga un exceso de electrones, es decir, tiene más electrones de los que necesita para completar una perfecta estructura molecular. En cambio, un semiconductor tipo P está dopado para que tenga una deficiencia de electrones.

Los electrones por exceso en el material N y los agujeros debidos a la deficiencia de electrones de material P son los portadores que transportarán la energía calorífica a lo largo del material termoeléctrico.

Cuando un electrón cambia de nivel energético a un nivel inferior desprende calor. De igual forma, si un electrón cambia de un nivel energético inferior a un nivel energético superior absorbe energía, y por tanto, absorbe calor.

En un módulo termoeléctrico, si los electrones por exceso de un elemento de tipo N (nivel alto de energía) pasan al tipo P (nivel bajo de energía) desprenderá calor. En cambio, si los electrones del elemento tipo P pasan al elemento tipo N, absorberán calor.

La figura 3.2 muestra un esquema de un módulo termoeléctrico al cual se aplica una corriente eléctrica.

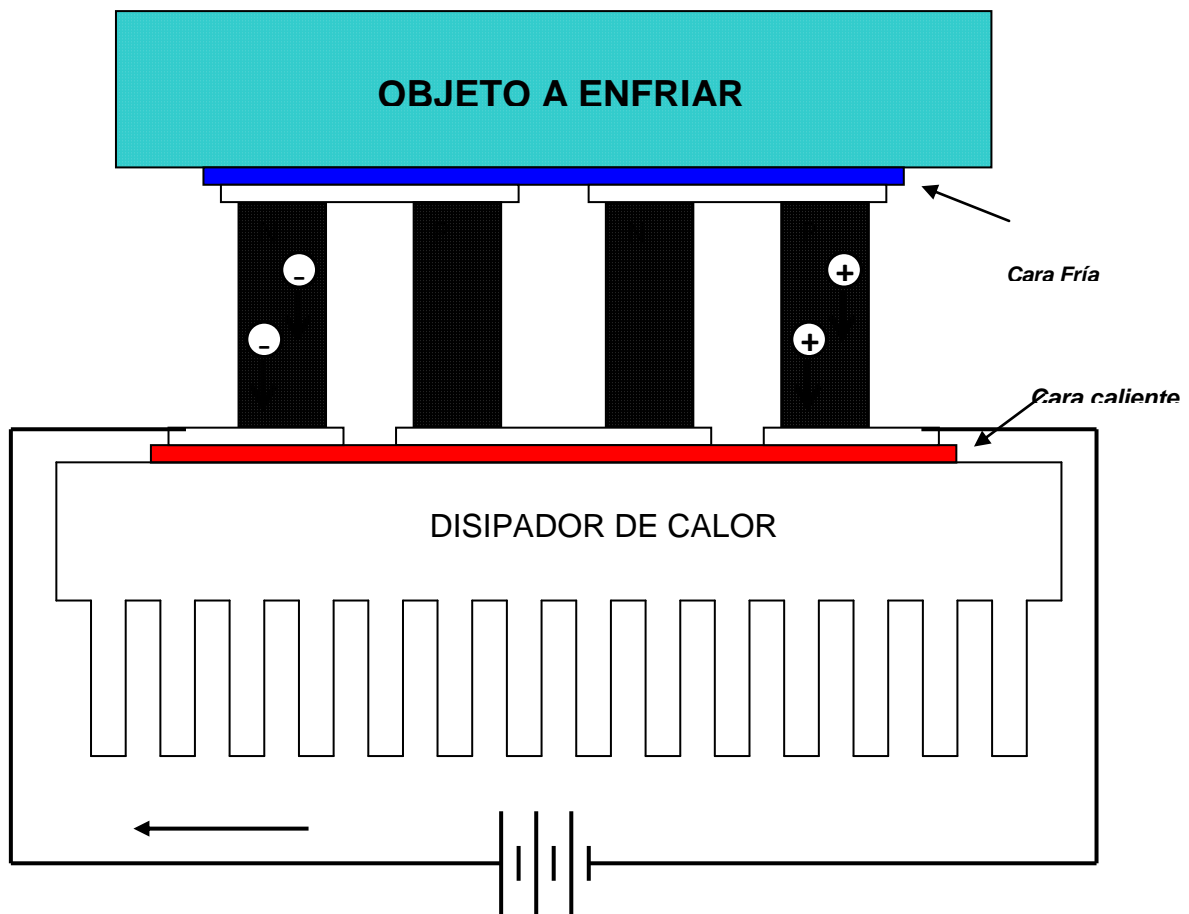


Figura 3.2. Esquema de un módulo termoelectrico

Para un sentido de corriente dado, se puede observar que las uniones entre semiconductores que la corriente atraviesa pasando de un elemento tipo N a un elemento tipo P están todas en una misma cara.

De igual forma, las uniones que la corriente atraviesa pasando de un elemento P a un elemento N se encuentran todas en la otra cara.

El movimiento de los electrones es contrario al sentido de la corriente. Por tanto, cuando la corriente pasa de un elemento N a un elemento P, significa que los electrones pasan del elemento P al N y la unión absorbe calor (cara fría).

De igual forma, si la corriente pasa de un elemento P a un elemento N, los electrones pasan del elemento N al P y la unión desprende calor (cara caliente).

Con todo lo expuesto, se puede deducir que basta que la corriente cambie de sentido para que las uniones que enfriaban pasen a calentar, y al revés.

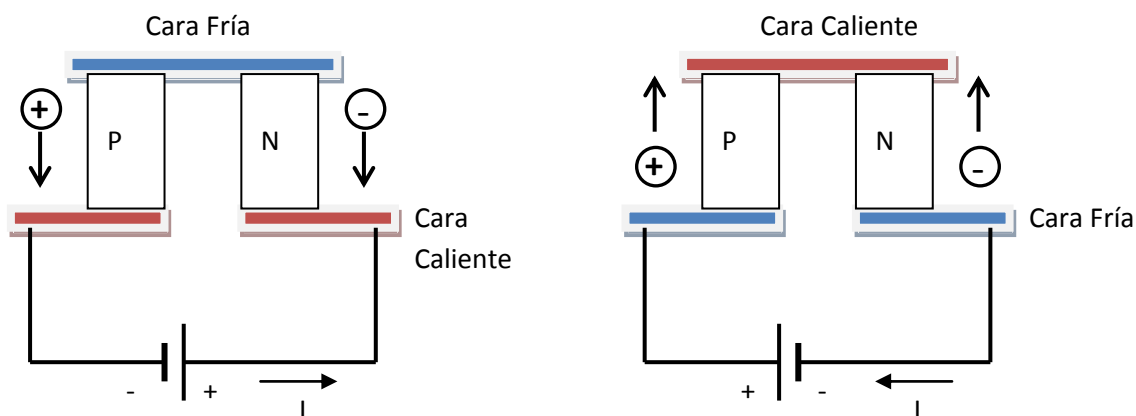


Figura 3.3. Forma de calentar y forma de enfriar.

La figura 3.3 muestra como la cara fría y caliente de un módulo termoelectrico están definidas por el sentido de la corriente continua aplicada.

El movimiento de los electrones que circulan por el módulo provoca efectos físicos no deseados que actúan en contra del efecto de refrigeración. El efecto Joule y el efecto de la conducción interna introducen calor al sistema.

El efecto de bombeo del calor, efecto Peltier, es proporcional a la intensidad eléctrica, en cambio, el efecto Joule depende del cuadrado de la corriente. Esto implica que el calentamiento general de la TEC crecerá mucho más rápido que el enfriamiento parcial, y llegará un momento en que la cara fría del módulo se calentará.

Por otro lado, el efecto Peltier depende poco de la diferencia de temperaturas, pero el retorno del calor por conducción interna es proporcional a la temperatura.

Por tanto, existirá una temperatura para la cual el calor bombeado volverá al punto de partida y las caras del TEC no se enfriarán ni se calentarán más. Esta diferencia de temperaturas se sitúa entre los 55°C y los 65°C para corrientes de 3 a 5 amperios.

### 3.3 Balance energético

En la figura 3.4, se puede observar el balance energético de un módulo termoelectrico respecto al exterior.

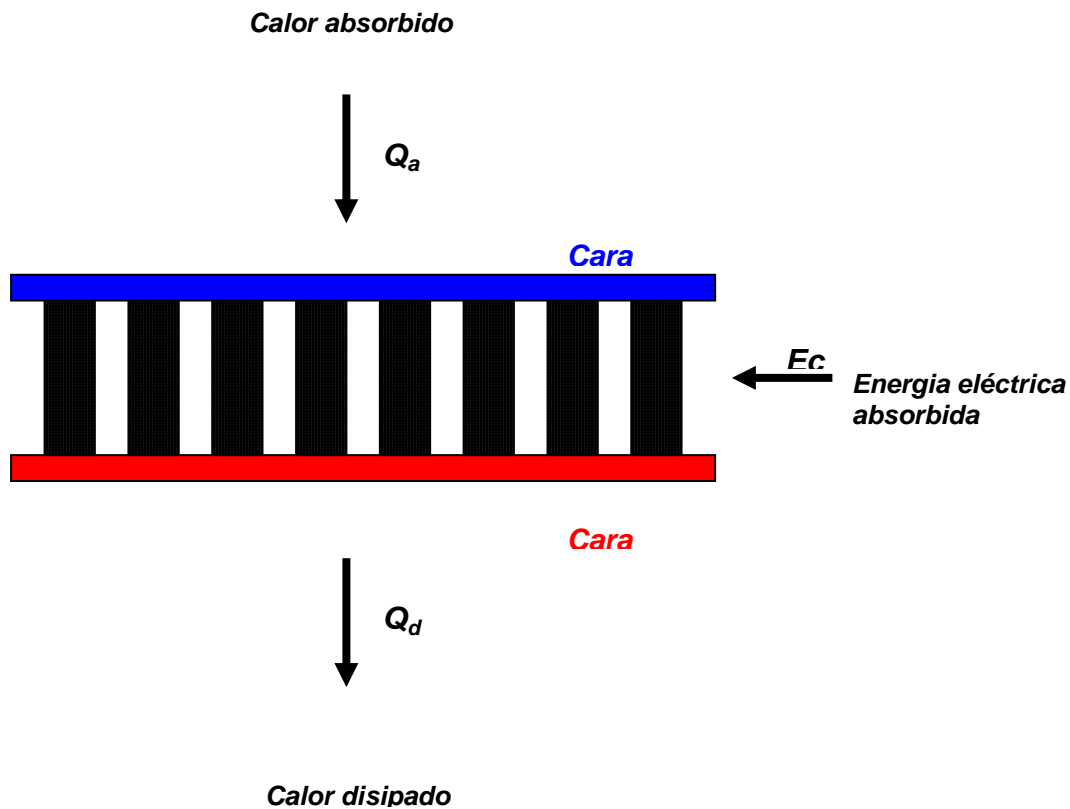


Fig. 3.4 balance energético

En equilibrio, la suma de las energías debe ser nula. Por tanto se puede plantear la siguiente ecuación:

$$Q_a + E_c = Q_d \quad \text{ecuación.3.1}$$

Donde:  $Q_a$ : Calor absorbido.  
 $Q_d$ : Calor disipado o emitido.  
 $E_c$ : Energía eléctrica consumida.

La energía disipada en la cara caliente es la suma de la energía absorbida en la cara caliente más la energía eléctrica consumida.

### 3.4 Balance térmico

En la figura 3.5, se puede observar el comportamiento del módulo termoelectrico TEC a nivel de balance calorífico.

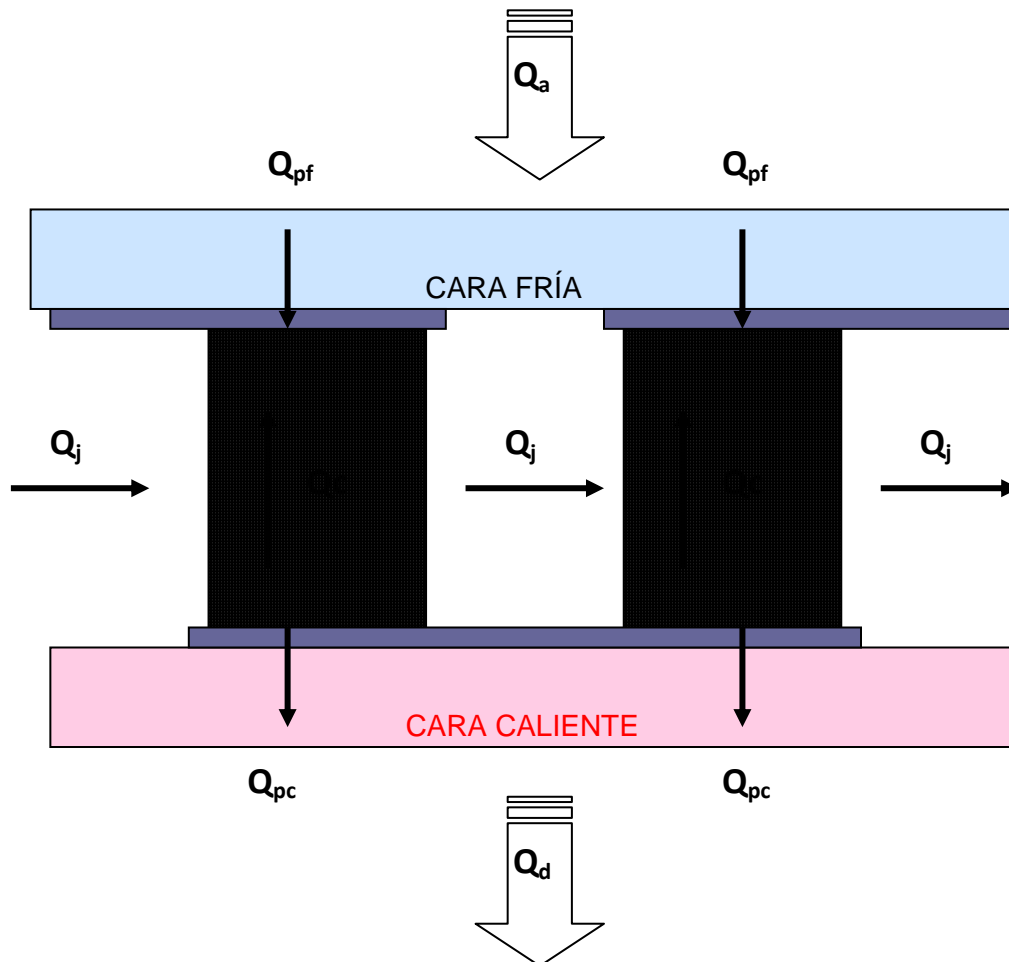


Figura 3.5 Balance térmico

Donde:	$Q_a$ :	Calor absorbido.
	$Q_d$ :	Calor disipado o emitido
	$Q_{pf}$ :	Calor absorbido por el efecto Peltier.
	$Q_{pc}$ :	Calor disipada por el efecto Peltier.
	$Q_c$ :	Calor creado por conducción interna.
	$Q_j$ :	Calor disipado por efecto Joule.

### **3.5 Modelo matemático de los módulos termoelectricos**

El comportamiento de un dispositivo termoelectrico puede describirse matemáticamente. Existe un gran número de parámetros asociados a los materiales y módulos termoelectricos que se deberían considerar en un modelo matemático, pero algunos se pueden obviar para simplificar el proceso de modelado.

Los elementos que deben considerar en el modelo son: el coeficiente efectivo de Seebeck, la resistencia eléctrica y la conductancia térmica.

Los valores de estos parámetros se pueden expresar matemáticamente mediante ecuaciones polinómicas. Los coeficientes de estas ecuaciones se han obtenido de un módulo de 71 termopares y 6 amperios, y son validos para un rango de  $-100^{\circ}\text{C}$  a  $+150^{\circ}\text{C}$ .

#### **3.5.1 Cálculos del comportamiento del módulo termoelectrico**

En un dispositivo termoelectrico se pueden destacar cinco parámetros variables que intervienen en sus funcionamientos, estos parámetros son:

- I: La corriente eléctrica de entrada al módulo expresada en amperios.
- $V_{in}$ : La tensión de entrada al módulo expresada en voltios.
- $T_c$ : La temperatura de la cara caliente del módulo expresada en  $^{\circ}\text{K}$ .
- $T_f$ : La temperatura de la cara fría del módulo expresada en  $^{\circ}\text{K}$ .
- $Q_c$ : El calor absorbido o bombeado por el módulo expresado en watts.

Para calcular el comportamiento de un módulo se debe fijar el valor de al menos tres parámetros. Se suele utilizar dos criterios para realizar los cálculos:

Fijar los valores de  $T_c$  y  $Q_c$ , o fijar los valores de  $T_c$  y  $T_f$ .

A continuación se expondrán ecuaciones matemáticas que describen el comportamiento de un módulo termoelectrico simple como el que muestra en la figura 3.6.



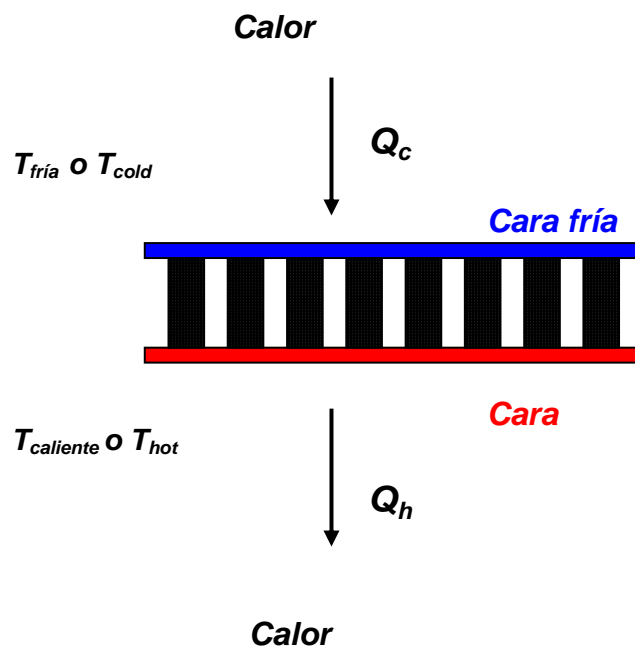


Figura 3.6. Variables de un módulo termoeléctrico simple

Para calcular la diferencia de temperatura (DT) a través del módulo se utiliza la siguiente expresión:

$$DT = T_c - T_f \quad \text{ecuación 3.2}$$

La siguiente ecuación expresa el calor bombeado para el módulo en vatios:

$$Q_c = (S_M \cdot T_f \cdot I) - (0.5 \cdot I^2 \cdot R_M) - (K_M \cdot DT) \quad \text{ecuación 3.3}$$

La tensión de entrada al módulo se expresa como:

$$V_{in} = (S_M \cdot DT) + (I \cdot R_M) \quad \text{ecuación 3.4}$$

La potencia eléctrica de entrada al módulo en vatios es:

$$P_{in} = V_{in} \cdot I \quad \text{ecuación 3.5}$$

El calor disipado por el módulo en vatios se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Q_h = P_{in} + Q_c \quad \text{ecuación 3.6}$$

El coeficiente de rendimiento relaciona el calor absorbido con la potencia eléctrica necesaria para refrigerar el sistema. Este parámetro se expresa como:

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \quad \text{ecuación 3.7}$$

Si se cambia el sentido de la corriente, de forma que la TEC funcione en modo calentador, la expresión del calor generada es:

$$Q_h = (S_M \cdot T_c \cdot I) - (0.5 \cdot I^2 \cdot R_M) - (K_M \cdot (T_c - T_f)) \quad \text{ecuación 3.8}$$

El coeficiente de rendimiento en modo calentador (COPH) se expresa como:

$$COPH = \frac{Q_h}{P_{in}} \quad \text{ecuación 3.9}$$

### 3.5.2 Otras características de los modelos termoeléctricos

Existen muchas otras propiedades de los módulos termoeléctricos que se pueden describir matemáticamente.

A continuación se muestran las expresiones de algunos parámetros que pueden ser de interés:

Máxima capacidad de bombeo:

La máxima capacidad de bombeo,  $Q_{\max}$ , en watios de un módulo se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\max} = \frac{S_M^2 \cdot T_c^2}{2 \cdot R_M} \quad \text{ecuación 3.10}$$

Cuando la calor absorbida es máxima, máximo  $Q_c$ , la temperatura diferencial  $DT$  es nula, por tanto la temperatura caliente es igual que la temperatura fría, ( $T_c=T_f$ ).

Máxima temperatura diferencial:

La máxima temperatura diferencial, ( $DT_{\max}$ ), en  $K^\circ$  se puede expresar de la siguiente forma:

$$DT_{\max} = \frac{S_M^2 \cdot T_c^2}{2 \cdot R_M \cdot K_M} \quad \text{ecuación 3.11}$$

Figura del mérito:

La figura del mérito es un parámetro de medida del comportamiento de un dispositivo termoelectrico o de un material. La siguiente ecuación expresa la figura de mérito de un módulo termoelectrico:

$$Z = \frac{S_M^2}{R_M \cdot K_M} \quad \text{ecuación 3.12}$$

Corriente óptima:

La corriente óptima en amperios para un módulo es la corriente necesaria para obtener la máxima capacidad de bombeo ( $Q_{\max}$ ) y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$I_{\text{opt}} = \frac{S_M \cdot T_f}{R_M} \quad \text{ecuación 3.13}$$

### 3.5.3 Comparación entre la máquina frigorífica de compresión y los módulos termoelectricos

Una bomba de calor es una máquina frigorífica / calorífica capaz de suministrar / absorber calor a / de una fuente fría, está basado en un círculo cerrado (Karnaut). Una bomba de calor realiza el transporte del mismo calor de una zona a otra de un sistema cerrado consumiendo energía mecánica o eléctrica, por el cual se forma dos partes con la temperatura bien diferenciada.

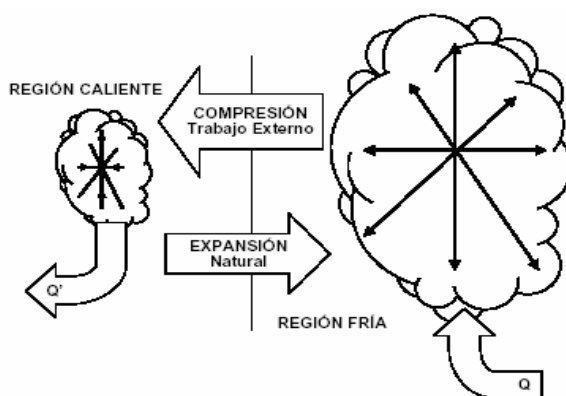


Figura 3.7. Esquema de funcionamiento de una termobomba

Las bombas de calor convencionales consiguen la transferencia del calor a través de un circuito frigorífico clásico (aparatos de aire acondicionado, neveras) consiguiendo enfriar un medio haciendo expandir un gas en una región, el que absorbe una energía en forma de calor; esta absorción origina una disminución de la temperatura en aquella región.

El gas expandido se comprime en otra región con la ayuda de una energía externa, el que origina el calentamiento de esta otra región, este proceso se ilustra en la figura 1.

La energía externa aplicada a estas termobombas es mecánica, a través de motores de continua o alterna bifásicos o trifásicos, alimentados con energía eléctrica. Esto hace pensar que la vida media de estos tipos de aparatos es limitada debido básicamente a los rozamientos de las piezas móviles; también presentan problemas de fugas y necesitan revisiones periódicas para mantener la presión del gas.

Tradicionalmente, se han utilizado compresores y elementos mecánicos en los sistemas de refrigeración. El esquema del sistema utilizado se muestra en la figura 3.8 donde se puede apreciar el proceso seguido en la mayoría de los frigoríficos y sistemas de refrigeración utilizados hasta la fecha.

El proceso consiste, básicamente, en aplicar un trabajo externo mediante el que se comprime un gas. Como resultado, este aumenta su temperatura y causa la disminución de la de su entorno (ya que absorbe el calor).

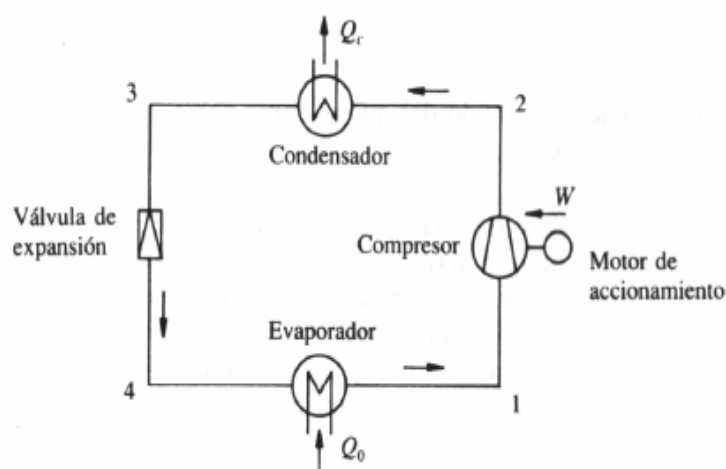


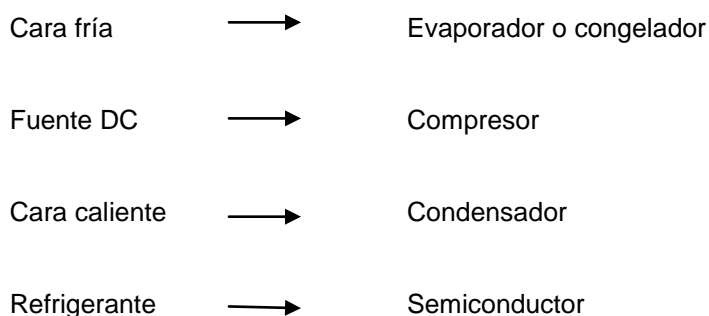
Figura 3.8 Componentes del ciclo frigorífico (bomba de calor) .

Este gas, pasa a continuación a otro compartimento en el cual se expande de forma natural, proceso mediante el cual cede su calor al sistema y pasa al exterior. A continuación el gas vuelve al primer compartimento, en el que volverá a absorber calor y comenzará nuevamente el ciclo.

Un sistema convencional de refrigeración consta fundamentalmente de tres partes: el evaporador, el compresor y el condensador. Por todo el sistema habrá un líquido o gas refrigerante que será el encargado de transportar el calor de una zona a otra. El funcionamiento de las distintas partes es el siguiente: En el evaporador, el refrigerante a presión se expande y se evapora. Durante este paso de líquido a gas, se absorbe calor de la zona a enfriar.

El compresor actúa como una bomba de calor y vuelve a comprimir el gas de manera que se vuelve líquido. En el condensador se expulsa el calor absorbido en el evaporador más el calor producido durante la compresión y la transmite al entorno o ambiente.

En un sistema termoelectrico como el que se ilustra en la figura 3, un material semiconductor dopado reemplaza al refrigerante, el condensador es sustituido por un disipador con aletas, y el compresor por una fuente de tensión. La aplicación de una tensión DC al aparato termoelectrico causa que los electrones se muevan a través del material semiconductor. En el extremo frío del material del semiconductor, el calor es absorbido por los electrones en movimiento, y llevado al extremo caliente. Desde el extremo caliente del material que está físicamente asociado con el disipador, el calor es, entonces, transferido al ambiente. De esta manera se puede establecer un paralelismo entre un sistema refrigerador termoelectrico y uno mecánico.



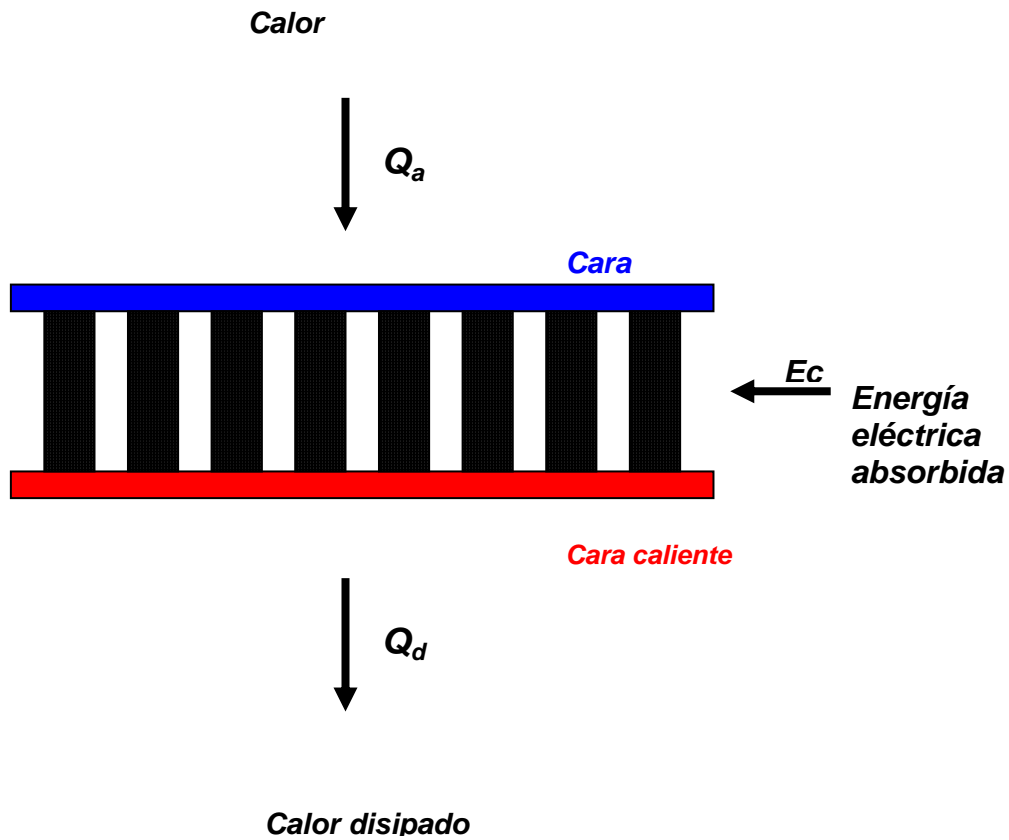


Figura 3.9 Estructura de una célula termoeléctrica



### 3.6 *Ejemplo de elección de una célula de Peltier*

#### 3.6.1 *Variables iniciales*

Existen diversos métodos para poder elegir el TEC que más convenga para cada aplicación y en este apartado se ejemplificarán 3 de ellos, cada uno de los cuales ejemplificará una situación distinta.

Antes de comenzar con la elección de la Peltier se debe de unas especificaciones o requisitos que el usuario deseará que se satisfagan una vez escogida la célula. Estas especificaciones deben ser:

- Calor a bombear.  
Se incluye en esta variable tanto la potencia disipada por el objeto, si de un circuito se tratara, como el calor que pudiera ser sumado por conducción, radiación o corrientes de convección.
- Temperatura en la cara fría.  
O en su defecto la diferencia de temperaturas altas conociendo la temperatura de la cara caliente.

#### 3.6.2 *Método de ratios*

Datos:

El componente electrónico a refrigerar disipa: 8 W

Al componente le llega calor extra en forma de:

- Radiación: 0,2 W
- Convección: 0,8 W

Total de calor a disipar o bombear  $Q_{\max}$ : 9 W

La célula Peltier se desea que quede:

- Cara caliente: 27° C
- Cara fría: -8° C
- $\Delta T$  entre caras: 35° C

Para decidir el número de etapas necesarias en esta aplicación se hace servir la figura 3.10.

Etapas	$\Delta T_{\max}$ (Seco N2@ 1atm)	$\Delta T_{\max}$ (Vacío)
1	64	67
2	84	91
3	95	109
4	-	115
5	-	121
6	-	127

Figura 3.10 Tabla universal del salto térmico para diversas etapas

Solo un módulo será necesario, ya que como vemos en la tabla para un  $\Delta T$  de 64° C son más que suficientes para nuestro requisito de 35° C de diferencia de temperatura entre caras.

Como las gráficas de que se disponen para cuando se trabaje con un módulo están normalizadas a una  $\Delta T = \Delta T_{\max} = 64^\circ \text{C}$  será necesario encontrar el ratio o la relación  $\Delta T$  que se quiere y la máxima posible proporcionada por el TEC.

En este ejemplo dicha relación se encuentra en la ecuación:

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_{\max}} = \frac{35^\circ \text{C}}{64^\circ \text{C}} = 0.55 \quad \text{ecuación 3.14}$$

Obtenida la relación anterior se debe encontrar cual es el mejor TEC para nuestro propósito. Esta elección pasa por encontrar cual sería el óptimo valor de  $Q_{max}$  que debería proporcionar una placa y cuál sería el máximo valor de  $Q_{max}$  que debería proporcionar la otra placa cual escogeremos.

Y para poder encontrar dichas características para encontrar una TEC's candidatos se ha de utilizar la figura 3.11.

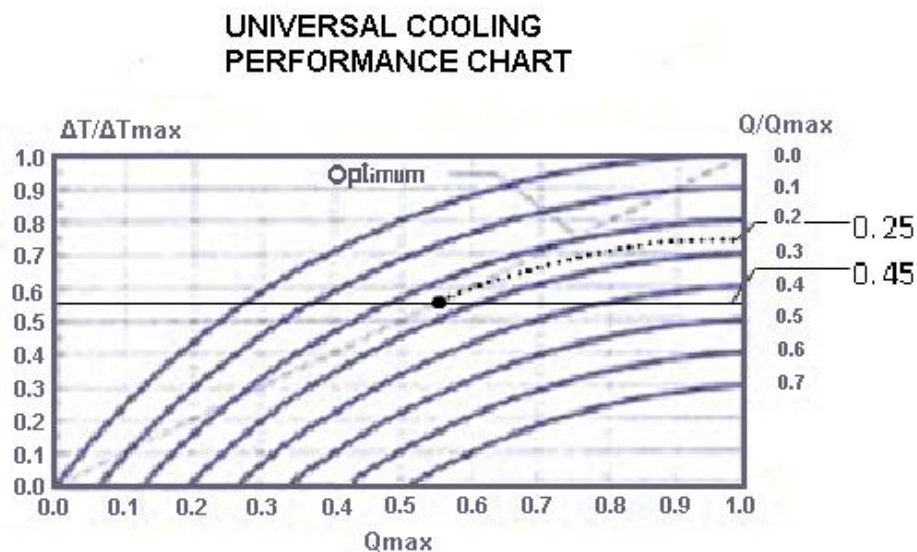


Figura 3.11 Curvas universales  $\Delta T/\Delta T_{max}$  vs  $Q/Q_{max}$  vs  $I/I_{max}$  para 1 módulo TEC

La figura 3.11 representa la cantidad de calor que se puede absorber para una  $\Delta T$  dada.

Para una corriente de entrada al TEC conocida. La diagonal que atraviesa la gráfica corresponde a la relación óptima de  $Q/Q_{max}$  que serviría para este propósito. Un TEC con una  $Q_{max}$  cercana encontrado mediante la diagonal sería el que ofrecería el máximo rendimiento.

De este modo, trazando una línea horizontal, tal y como se hace en la figura 2.11 desde el valor  $\Delta T/\Delta T_{max} = 0.55$  en el eje de ordenadas izquierda hasta la diagonal que atraviesa la gráfica se ve que el cruce se produce entre las capacidades de bombeo  $Q/Q_{max}$  de la Peltier que se busca debería de ser 0,25.

Haciendo factores de conversión se encuentra el valor óptimo de  $Q_{max}$  de debería tener, según un fabricante, una de las placas candidatas.

$$Q_{max} \text{ "óptimo"} = \frac{Q}{0.25} = \frac{9W}{0.25} = 36W \quad \text{ecuación 3.15}$$

Por eso, una célula Peltier que especifique  $Q_{max} = 36 W$  será la célula Peltier óptima, la que proporcione mayor rendimiento.

De forma similar se encontrará el valor máximo de  $Q_{max}$  que debería ofrecer un TEC para poder ser aplicable en el sistema de refrigeración del componente electrónico.

El valor máximo de  $Q_{max}$  que debería tener una Peltier se encuentra de forma similar al caso anterior.

Desde el eje correspondiente a  $\Delta T/\Delta T_{max}$  se traza una línea horizontal hasta que se llegue al eje de ordenadas izquierda que representa las relaciones máximas de  $Q/Q_{max}$ . Tomando las curvas como referencia se obtiene una relación máxima  $Q/Q_{max}$  de 0,45. De esta manera un TEC el cual  $Q_{max}$  fuera similar al máximo  $Q_{max}$  encontrado sería el más pequeño y el más barato.

Haciendo factores de conversión se obtiene:

$$Q_{max} \text{ "máximo"} = \frac{Q}{0.45} = \frac{9W}{0.45} = 20W \quad \text{ecuación 3.16}$$

De los diferentes TEC's que hay en el mercado serán estudiados:

- 14 A, 3,4 V,  $Q_{max} = 31 W$ .
- 9 A, 3,5 V,  $Q_{max} = 20 W$ .

Solo es posible llegar a los datos del fabricante en situaciones muy concretas, por ejemplo, en el vacío, tanto que los dos TEC's candidatos seleccionaremos el primero porque sobrepasa el valor de  $Q_{max}$  "máximo" y es el que se acerca más al  $Q_{max}$  "óptimo".

Cálculo del voltaje necesario para el TEC elegido.

Se ha elegido un solo TEC ( $\Delta T_{\max} = 64^\circ \text{C}$ ) con las siguientes características:

$Q_{\max} = 31 \text{ W}$ .

$I_{\max} = 14 \text{ A}$ .

$V_{\max} = 3,4 \text{ V}$ .

Trabajar con una  $Q_{\max} = 31 \text{ W}$  supone estar sobre la curva de:

$$\frac{Q}{Q_{\max}} \text{ "óptimo"} = \frac{9\text{W}}{31\text{W}} = 0,29 \quad \text{ecuación 3.17}$$

Así que se redibuja la situación en la que está, llevando la línea horizontal desde  $\Delta T/\Delta T_{\max} = 0,55$  hasta la curva  $Q/Q_{\max} = 0,29$  tal y como se muestra en la figura 3.12

a)

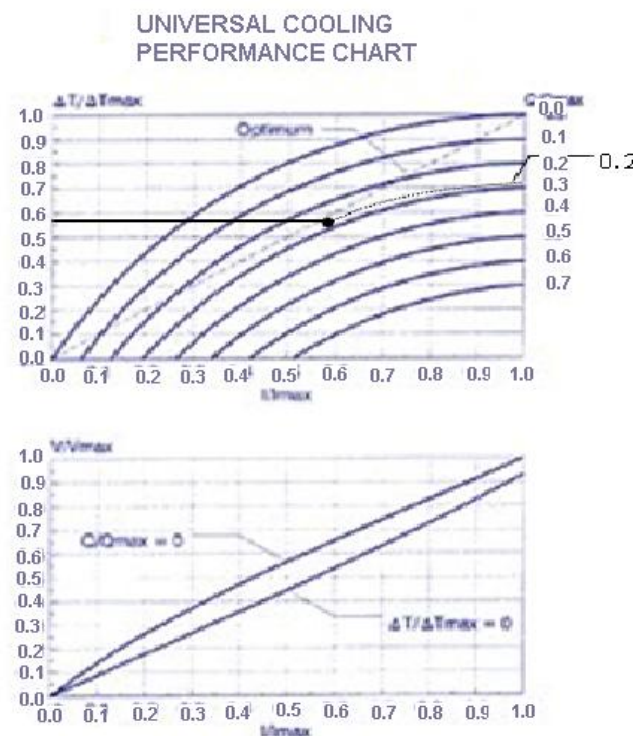


Figura. 3.12 a) Curvas universales  $\Delta T/\Delta T_{\max}$  vs  $Q/Q_{\max}$  vs  $I/I_{\max}$  para 1 módulo TEC.

Figura.3.12 b) Curvas universales  $V/V_{\max}$  vs  $I/I_{\max}$ .

En la misma gráfica 3.12 a) desde el punto  $(\Delta T/\Delta T_{\max}, Q/Q_{\max}) = (0'55, 0'29)$  se traza una línea vertical hasta el eje de abscisas para saber la corriente que circulará por el TEC. El valor obtenido es  $I/I_{\max} = 0,59$ , el valor de la corriente de entrada será por tanto:

$$I = I_{\max} \cdot 0'59 = 14A \cdot 0'59 = 8'26A \quad \text{ecuación 3.18}$$

Teniendo como dato la relación  $I/I_{\max}$  es posible utilizando la misma gráfica 3.12 b) encontrar la tensión que se debe aplicar al TEC.

Se obtiene de la gráfica anterior 2 relaciones,  $V/V_{\max}$  para  $\Delta T = 0$  y  $V/V_{\max}$  para  $Q = 0$ . Los dos voltajes que se encontrarán posteriormente, determinan la gama de valores que pueden tomar la tensión de entrada.

Para grandes  $\Delta T$  ( $Q/Q_{\max}$  bajas), la tensión corresponderá a la parte alta de la gama y la parte baja de la gama en caso de  $Q/Q_{\max}$  altas ( $\Delta T$  bajas).

La relación máxima  $V/V_{\max}$  obtenida es 0,67 y la tensión superior:

$$V_{\text{sup}} = V_{\max} \cdot 0'67 = 3'4V \cdot 0'67 = 2'278V \quad \text{ecuación 3.19}$$

La relación mínima  $V/V_{\max}$  obtenida es 0,53 y la tensión inferior:

$$V_{\text{inf}} = V_{\max} \cdot 0'53 = 3'4V \cdot 0'53 = 1'802V \quad \text{ecuación 3.20}$$

Es aquí donde se debe hacer un paréntesis y explicar porque puede llevar a una confusión.

Antes de encontrar el voltaje que debe alimentar a la Peltier hemos fijado la corriente a un valor conocido y en ningún momento se ha supuesto que se pueda variar, a pesar que hemos encontrado más de un valor.

La razón es sencilla, si se quiere mantener un valor de corriente constante sobre una resistencia de valor conocido, por la ley de Ohm se sabrá la tensión que se debe aplicar. Pero el problema viene cuando este valor de resistencia depende de otros parámetros.

En un TEC se pueden distinguir dos no linealizadas en el que a la resistencia de entrada se refiere. Depende principalmente a la diferencia de temperatura que hay entre las dos caras y consecuentemente del calor que puede bombear.

Incluso para  $\Delta T = 0$ , nada más comienza a funcionar, la resistencia que presenta el TEC no es lineal ya que esta no depende linealmente de la temperatura media a la que se encuentra el módulo. De todas formas esta curva ( $\Delta T = 0$ ) no será por la que se mueva la Peltier, lo hará solamente durante un diferencial de tiempo ( $dt$ ) ya que la célula Peltier comenzará a bombear calor (el máximo calor que se podrá bombear) y aparecerá una diferencia entre las caras distinta de 0. En este instante ( $dt$ ) hay un cambio de curvas y se pasa a una curva con  $\Delta T = \Delta T_1$ .

Ya que la resistencia es proporcional a la diferencia de temperatura entre caras, la resistencia del TEC aumentará y para una misma tensión la corriente disminuirá. Es aquí donde aparece el control. Si se quiere mantener fija la corriente a través de la resistencia del TEC hay que variar la tensión aplicada en los bornes según la resistencia que presente el TEC de entrada. Por este motivo, en el ejemplo expuesto se contemplan los valores máximos y mínimos que se tendrá que aplicar al TEC para que su corriente siempre sea la misma.

Siguiendo con el ejemplo, la máxima potencia que va desarrollar el TEC corresponde a la máxima tensión que se le aplicará para la corriente que circulará a través suyo.

La máxima potencia generada por el TEC  $Q_{TEC}$ :

$$Q_{TEC} = V_{sup} \cdot I = 2'278V \cdot 8'26A = 18'81W \quad \text{ecuación 3.21}$$

Como se ve, la potencia desarrollada por el mismo TEC es mucho más importante que la que tiene que bombear.

Debajo de la cara caliente del TEC se colocará un radiador o disipador y toda la potencia que tenga que radiar será bombeada por el TEC más la generada por el mismo TEC.

Calor disipado en la cara caliente ( $Q_h$ ):

$$Q_h = Q + Q_{TEC} = 9W + 18'81W = 27'81W \quad \text{ecuación 3.22}$$

Este último dato es bastante importante, ya que sabiendo la resistencia térmica del radiador se sabrá a qué temperatura llegará y si el calor emitido será tan importante que habrá que recalcular las potencias parásitas que llegan al dispositivo incluyendo la aportación del radiador.



## Capítulo 4: Control de humedad en volumen constante



## 4. CONTROL DE HUMEDAD EN VOLUMEN CONSTANTE

### 4.1 *Estado higrométrico*

Se llama humedad absoluta a la cantidad de agua (en estado vapor) que hay en un volumen determinado de aire, pero de la misma manera que la concentración de una disolución no nos expresa por sí sola el grado de saturación, la humedad absoluta no nos marca el verdadero índice de humedad en el aire.

Por la razón anteriormente apuntada, es del mayor interés el conocimiento de la humedad relativa o estado higrométrico: es el coeficiente entre la masa de vapor de agua por metro cúbico y la masa de vapor de agua que podría haber en dicho volumen de aire si estuviera saturada de vapor a la misma temperatura.

El procedimiento para controlar el estado higrométrico y la temperatura de un habitáculo de un vehículo se determina por el conocimiento de las propiedades del aire en un volumen fijo. Cuando la presión parcial del vapor de agua ( $p_v$ ) en un volumen determinado es menor a la presión de saturación a la temperatura del aire  $T$  ( $p_s$ ),  $p_v < p_s$ , entonces el aire húmedo no está saturado. Si la presión parcial del vapor de agua coincide con la presión de saturación,  $p_v = p_s$ :

$$r = \frac{p_v}{p_s}$$

ecuación 4.1

Para conocer la composición del aire húmedo, sería suficiente con esta variable ya que conocida temperatura, la humedad relativa y la presión se puede obtener la presión parcial del vapor del agua y la fracción molar. Ara bien, como la composición del aire seco no cambia es mucho más útil trabajar con otra propiedad del aire húmedo que es la humedad específica ( $e$ ) y es el cociente entre la masa de agua ( $m_g$ ) y la del aire ( $m_a$ )

$$e = \frac{m_g}{m_a}$$

ecuación 4.2

Para el aire húmedo no saturado ( $r < 100\%$ ) la masa de agua está en la fase vapor, entonces se cumple:

$$m_g = m_v = \frac{M_g p_v V}{R_0 T} \quad \text{ecuación 4.3}$$

Donde:

- $m_v$ : Es la masa del vapor de agua.
- $M_g$ : Es el peso molar del agua.
- $V$ : Es el volumen de control.
- $R_0$ : Es la constante general de los gases.
- $T$ : Es la temperatura de control.

Y para el aire seco:

$$m_a = \frac{M_a p_a V}{R_0 T} \quad \text{ecuación 4.4}$$

Donde:  $M_a$ : es el peso molar del aire seco.  
 $P_a$ : es la presión parcial del aire seco.

Si se reemplaza la ec.3 y la ec.4 en la ec.2 se tiene:

$$e = \frac{M_g}{M_a} \cdot \frac{p_v}{p_a} \quad \text{ecuación 4.5}$$

Como la presión atmosférica (en general) ( $p$ ) es la suma de  $p_v$  i  $p_a$ , es decir:

$$p = p_v + p_a \quad \text{ecuación 4.6}$$

Y el cociente entre los pesos molares es 0,622, entonces la ec.5 en función de la humedad relativa ( $r$ ) se puede poner como:

$$e = 0,622 \cdot \frac{p_s}{\frac{p}{r} - p_s} \quad \text{ecuación 4.7}$$

La presión de vapor saturado ( $p_s$ ) es función de la temperatura en consecuencia la humedad específica ( $e$ ) es función de la temperatura ( $T$ ), de la humedad relativa ( $r$ ) y de la presión atmosférica ( $p$ ), es decir:

$$e = f(T, r, p) \quad \text{ecuación 4.8}$$

## 4.2 Característica del aire húmedo

Cuando el aire húmedo está saturado la humedad relativa es del 100% y la ec.4.7 se deduce que:

$$e \Big|_{r=100\%} = e_s = 0,622 \cdot \frac{p_s}{p - p_s} \quad \text{ecuación 4.9.}$$

Y como  $p_s$  es función de la temperatura ( $T$ ) entonces la humedad específica en saturación es en función de la temperatura y de la presión ( $p$ ). Cuando la cantidad de agua supera a la que puede contener el aire en forma de vapor, esta se condensa y aparece en forma líquida (o sólida) y ocurre cuando se cumple la relación:

$$e > e_s \quad \text{ecuación 4.10}$$

### 4.2.1 Humedad específica en saturación y punto de rocío

Los vidrios se entelan en su cara interna si la cara externa está muy fría y su cara interna más caliente. Esta diferencia de temperatura hace que el aire caliente de la cara interior al chocar con el aire frío de la exterior llega a su temperatura de rocío y forman gotas de agua por condensación de vapor de agua. El punto de rocío es un parámetro característico del aire húmedo y se da cuando se enfría el aire a presión constante disminuyendo la temperatura hasta a la curva de saturación  $e_s$ . La temperatura correspondiente a este punto es el punto de rocío. Si el aire se encuentra a la temperatura  $T_1$ , humedad relativa  $r_1$  y la presión  $p$ , la presión de vapor  $p_v$  es:

$$p_v = r_1 \cdot p_s(T_1) \quad \text{ecuación 4.11}$$

Y para el punto de rocío (a la temperatura  $T_R$ ):

$$p_s(T_R) = p_v \quad \text{ecuación 4.12}$$

Entonces:

$$p_s(T_R) = r_1 \cdot p_s(T_1) \quad \text{ecuación 4.13}$$

### **4.3    *Sistemas de control de humedad***

#### **4.3.1   *Humificadores y deshumificadores***

El aire puede ser sometido a cuatro procesos básicos que modifican su estado físico. Estas son: calentamiento, enfriamiento, humidificación y deshumidificación. Los dos primeros modifican su temperatura, los otros dos varían el contenido de vapor de agua presente en el aire. Claro está que de acuerdo con el método elegido para modificar la temperatura, se producirá o no al mismo tiempo una variación en la humedad absoluta y al revés.

Los humidificadores aumentan la humedad relativa de un volumen determinado. Los métodos utilizados pueden ser diversos. Una manera de obtenerlo es hacer hervir agua mediante una resistencia eléctrica y genera vapor de agua que aumenta la temperatura del ambiente. Otra forma es mediante la utilización de ultrasonidos con pastillas piezoeléctricas aprovechando el fenómeno de la cavitación que da lugar a la formación de niebla que no aumenta la temperatura ambiente. También se aprovecha las características químicas de algunos compuestos para desprender vapor de agua con una temperatura alta determinada.

Los deshumidificadores disminuyen la humedad relativa de un volumen determinado. Cuando el volumen a control no es muy grande se pueden utilizar células Peltier para condensar vapor de agua en el ambiente de forma totalmente ecológica. También se puede utilizar compuestos químicos aprovechando las características de algunos de estos para absorber el vapor de agua a determinadas temperaturas elevadas.

Seguidamente se amplían algunos de los métodos mencionados anteriormente y que se utilizará en el desarrollo de este proyecto.

### 4.3.2 Deshumidificadores basados en sistemas químicos

Algunos deshumidificadores están basados en sistemas químicos. Como el que describo a continuación, que consta de las siguientes partes:

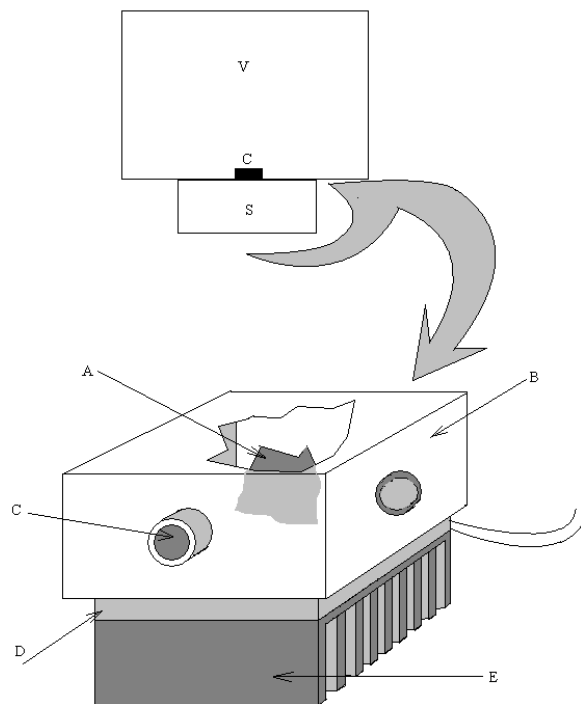


fig.4.1 Dispositivo de control de humedad

Donde:

- V es el volumen a controlar
- S es el sistema para el control de humedad
- A es la sustancia polímero
- B es la masa – recipiente que hace de contenedor
- C es el filtre en contacto con el volumen de control
- D es la célula Peltier
- E es el radiador
- F conexiones eléctricas de la célula Peltier.

Su funcionamiento es sencillo cuando la humedad relativa en el volumen a controlar es superior a la humedad deseada entonces la célula Peltier ha de enfriar el contenedor de polímero provocando la absorción del vapor de agua y en consecuencia la disminución de la humedad relativa en el volumen a controlar. Si por el contrario la humedad relativa en el volumen es inferior a la deseada el contenedor aumentara la temperatura por la acción de la célula Peltier expandiendo el vapor de agua por el volumen. Esta acción se puede expresar como:

$$r = f(T_p) \quad \text{ecuación 4.14}$$

$$T_p = f(V_p) \quad \text{ecuación 4.15}$$

Donde:  $r$ : es la humedad relativa.

$T$ : es la temperatura del polímero.

$V$ : es la tensión aplicada a la célula de Peltier.

Se puede convenir que si la tensión  $V$ , es positiva la humedad relativa  $r$  tiende a bajar y si  $V$  es negativa  $r$  tiende a subir. A partir de la ecuación 7 se obtiene la humedad específica ( $e$ ) que proporciona información suficiente y los puntos característicos del aire húmedo como el punto de rocío que podríamos evitarlo simplemente bajando la humedad del volumen a controlar a la vez que la temperatura seguirá constante. El siguiente gráfico ilustra el mecanismo:

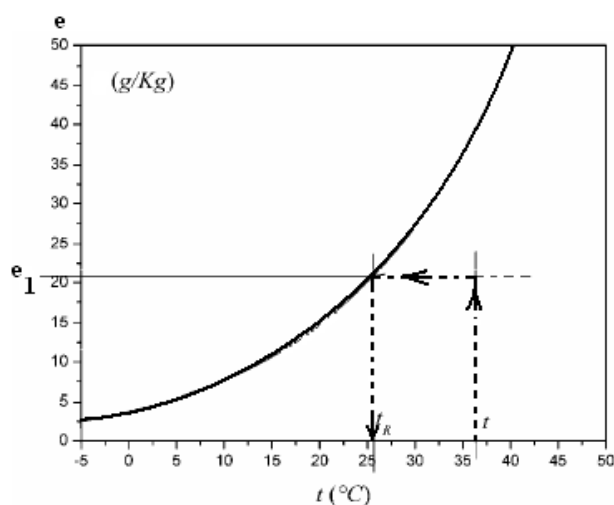


Fig.4.2 Humedad específica vs. Temperatura

La figura 4.2 indica que para una temperatura de 36,5° C, humedad relativa de 54 % y presión atmosférica de 1013mb el punto de rocío se da a la temperatura de 26° C y una humedad específica de 21 g/Kg. Estos datos servirán a un sistema de control mediante microprocesador para prevenir las condiciones de aire húmedo y hacer un análisis psicométrico.

#### **4.3.3 Deshumidificadores basados en la célula termoelectrónica**

En el campo de la climatización hay equipos que controlan la temperatura y la humedad que disponen de instalaciones frigoríficas de compresión que se utilizan fluidos frigoríferos a base de compresión de flúor y de cloro que en mayor o menor medida atacan a la capa de ozono. También se han desarrollado equipos que deshumidifican el aire utilizando absorbentes químicos y equipos de compresión en general de potencias de deshumidificadores grandes.

En el campo de las potencias bajas de un a cinco litros se ha pensado que equipos de deshumidificación formados por pastillas de efecto Peltier y acumuladores térmicos con cambio de fase a temperaturas más bajas del punto de rocío deseado. Se supera la falta de la deshumidificación de una sala o estancia y disponer de un equipo portátil y ecológico.

La tecnología presentada consiste en hacer pasar aire de un local, habitación, etc., a los actuales deshumidificadores y aspirado por unos ventiladores, a través de unos acumuladores de frío, que se enfrían mediante el efecto Peltier, recogiendo el agua condensada en el sistema en una bandeja interior. Es un equipo compacto de sobremesa, muy adecuado para controlar la humedad en climas húmedos, del cual se han eliminados ruidos y vibraciones, evitando las partes móviles de los compresores que llevan los actuales deshumidificadores y los fluidos frigoríferos, como posibles contaminaciones ambientales.

El deshumidificador funciona haciendo pasar de una habitación o local a deshumidificar a través de un laberinto, en el que se encuentran aletas y recintos en contacto con ellas, que contienen acumuladores de frío que cambian de fase a temperaturas por debajo del punto de rocío, depositando en ellos gran parte de la humedad del aire. El enfriamiento se hace con células Peltier, que consta de gran número de pares de semiconductores, unidos eléctricamente, alimentados con corriente continua.

Se aprovecha el frío del aire deshumidificado, para enfriar a la vez las caras de calientes de las células de Peltier de la segunda capa. Esto mejora el rendimiento del equipo y no enfría el aire de las estancias.

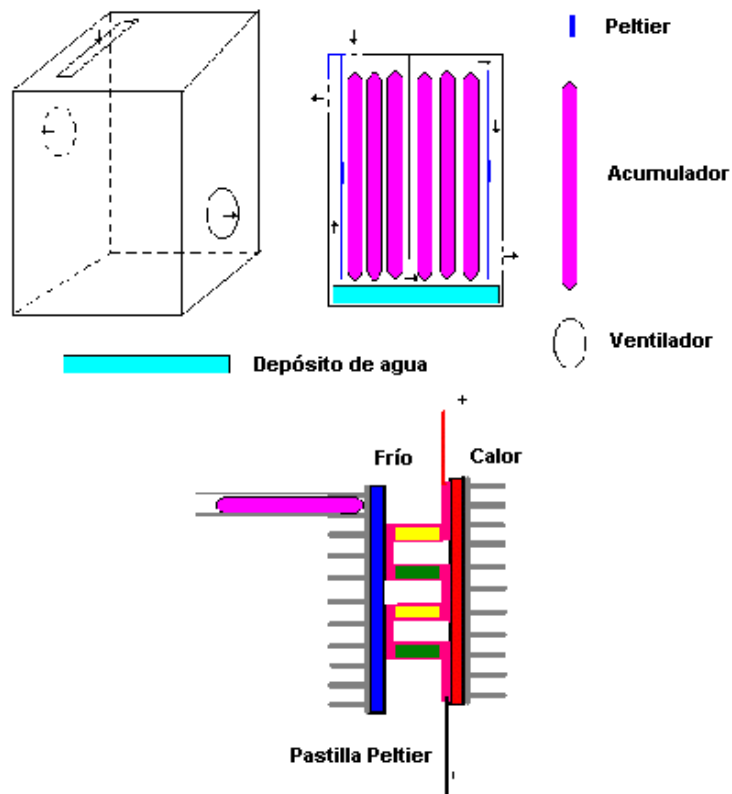


Fig.4.3 Sistemas de des humidificación mediante célula Peltier



Fig. 4.4 Sistemas comerciales





## Capítulo 5: Estructura del sistema del refrigerador

## 5. ESTRUCTURA DEL SISTEMA DEL REFRIGERADOR

### 5.1 Configuración general.

El esquema general del sistema de refrigeración en el que se incluyen los módulos de temperatura y humedad se presenta en la siguiente figura:

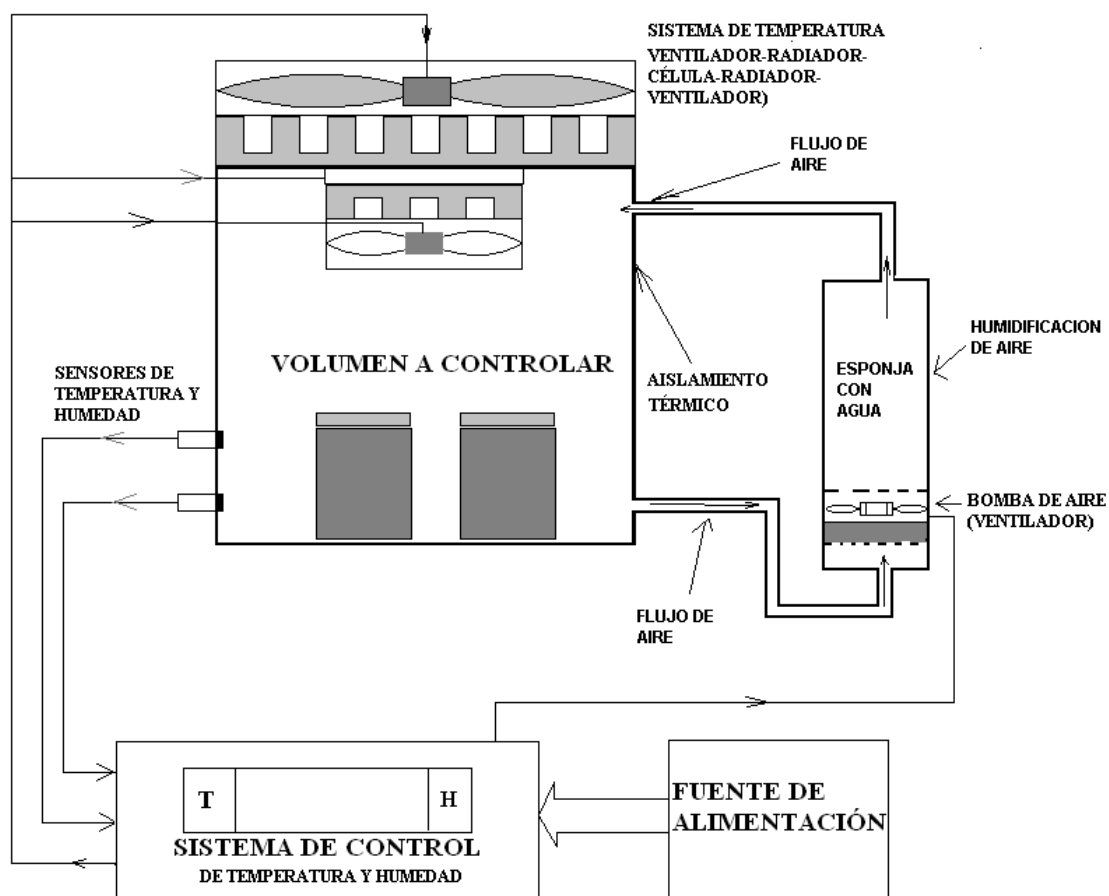


Fig. 5.1. Esquema en bloques en general

Las partes de que consta son:

1. El habitáculo.
2. Sistema de generación de frío mediante célula Peltier.
3. Sistema de generación de humedad.
4. Sistema de absorción de humedad.
5. Sistema de control que se activa a partir de los sensores de humedad y temperatura.

## 5.2 *El habitáculo*

El habitáculo, es una caja de madera de cedro con las siguientes estructuras y dimensiones.

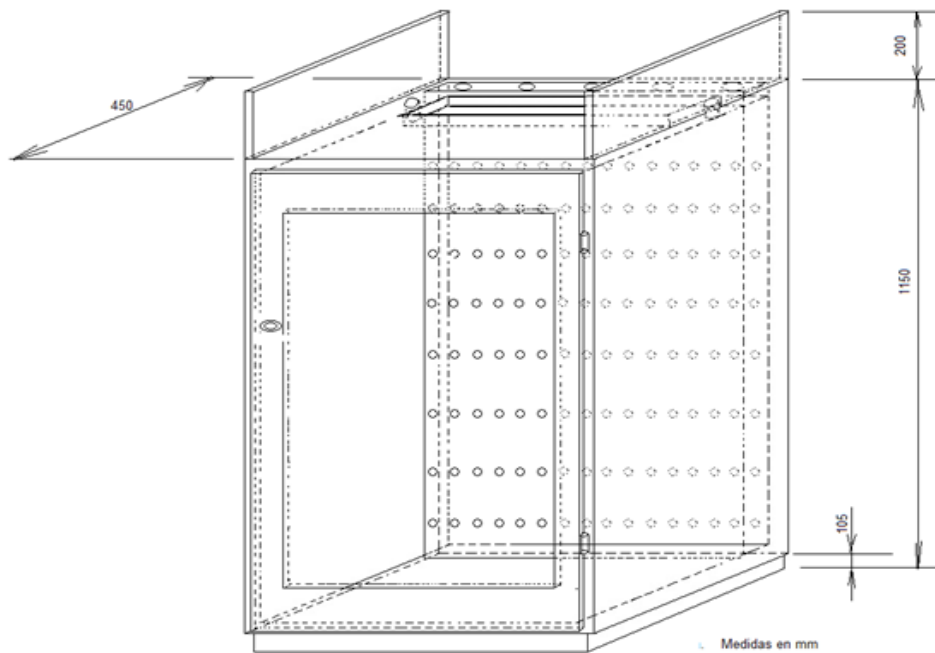


Figura 5.2. Esquema del habitáculo

El porqué de la madera de cedro es por motivos que aguanta muy bien la humedad y es lo mejor que existe en el mercado.

También tenemos una puerta con cristales climalit y cámara para que no haya perdida en la temperatura y humedad y hacer el sistema lo más estanco posible.

### 5.3 El subsistema de refrigeración termoeléctrico.

El sistema de refrigeración está basado en la utilización de células termoeléctricas. A esta se añade sus respectivos radiadores a la parte caliente y a la fría para que el intercambio de flujo de calor sea más eficiente. Si a más, se utiliza la ventilación forzada en estos radiadores el intercambio tiene todavía más rendimiento. De esta forma el control del flujo de calor se realiza mediante un sistema de ventilador-radiador-célula-radiador-ventilador. Como ya se ha visto la utilización del radiador-ventilador en la cara caliente de la célula Peltier evita un exceso de temperatura de la célula y su posible destrucción. El radiador junto con el ventilador en la cara fría de la célula realiza un mejor intercambio de flujo de frío (o de calor según se entienda) como el volumen de aire en el que se desea rebajar dicha temperatura. El ventilador aquí, acelera dicho intercambio de flujo.

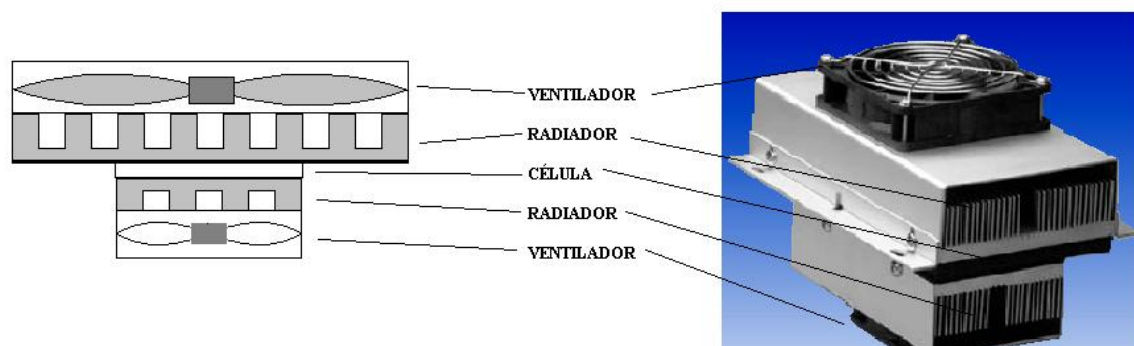


Fig.5.3. El sistema de frío

En el interior de la cámara donde se quiere controlar la temperatura existe el flujo de aire que se indica en la siguiente figura que esquematiza la estructura de frío:

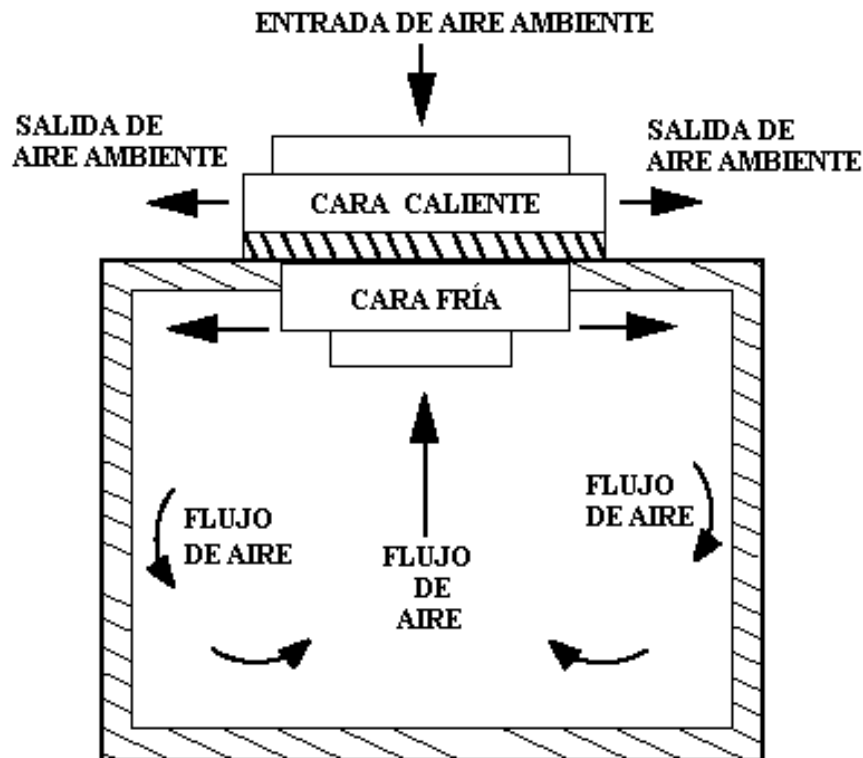


Fig.5.4 Flujo de aire en el interior de la cámara de frío.

Método para calcular el flujo de calor que debe bombear el sistema de frío.

El método que se describe a continuación está basada, en como lo realiza la empresa MELCOR. Se trata de un método práctico y descrito mediante una serie de pasos.

Obtención del flujo de bombeo o flujo de calor de pérdidas de la cabina.

- 1- Entrada de información.
  - 1.1- Dimensiones de la cabina (ancho W, alto H, largo D)
  - 1.2- Máxima temperatura ambiente ( $T_{\text{max ambiente}}$ )
  - 1.3- Máxima temperatura en la cabina ( $T_{\text{max cabina}}$ )
  - 1.4- Estimación del valor de R (resistencia térmica total) en relación con aislamiento térmico del material de la cabina.

2-Cálculo del área interior de la cabina (A)

$$A=2 \cdot [H \cdot W + H \cdot D + W \cdot D] \quad \text{ecuación 5.1}$$

3- Cálculo de  $\Delta T$ .

$$\Delta T = T_{\text{max amb}} - T_{\text{max cabina}} \quad \text{ecuación 5.2}$$

4- Cálculo de la resistencia térmica R.

4.1- Conocer la conductividad térmica K del material de aislamiento de la cabina

$$(\text{Unidades. } \frac{W}{m \cdot ^\circ K} \text{ o } \frac{W}{m \cdot ^\circ C})$$

4.2- Conocer el grosor del material de aislamiento.

$$\Delta X \text{ (unidades m)}$$

4.3- Obtener el valor de R.

$$R = \frac{\Delta x}{K} \quad \text{ecuación 5.3}$$

5- Obtener el flujo de calor por unidad de área (Q/A) en función de  $\Delta T$  y el valor de R de forma gráfica.

6- Cálculo del flujo total (Q)

$$Q = (Q/A) \times A \quad \text{ecuación 5.4}$$

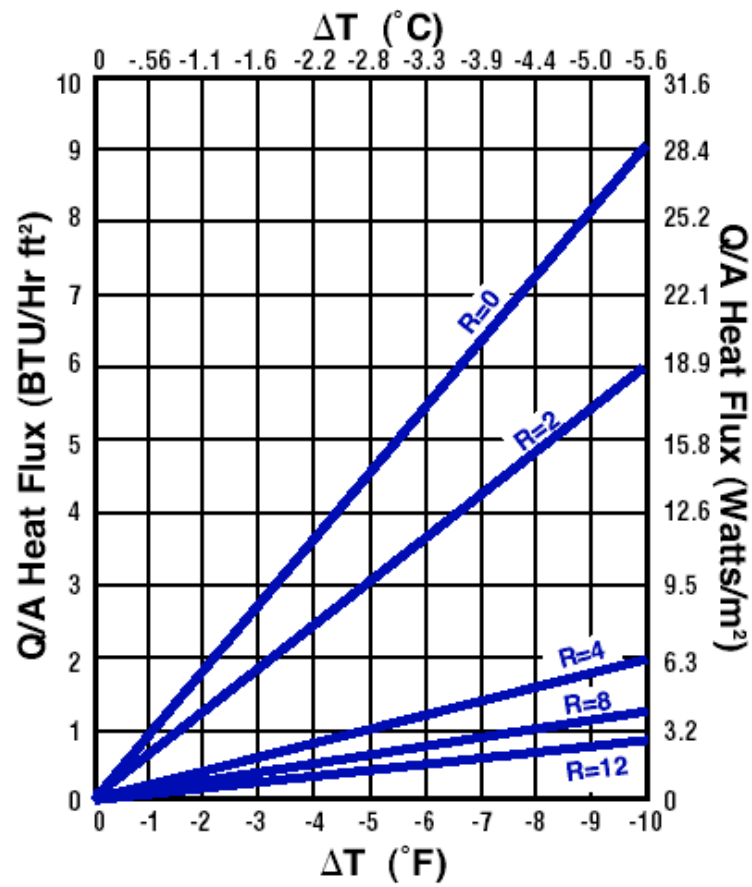


Fig. 5.5 Obtención del flujo gráficamente

Elección de la célula termoelectrica.

El método de la elección de la célula termoelectrica ya ha estado descrito en el capítulo (2.6) mediante el método de ratios. El software de ayuda AZTEC tiene como base de funcionamiento el método de ratios y precisamente el que se utilizará para la elección de la célula de MELCOR. Se parte del valor Q encontrado en el punto anterior. El radiador se modela únicamente mediante la utilización de la conductancia térmica. AZTEC tuvo en cuenta esta circunstancia. El uso de ventiladores mejorará el comportamiento de los radiadores al forzar el flujo de aire. En el punto siguiente se describe de una manera sencilla el comportamiento del radiador.

Descripción básica de los radiadores

Los radiadores se construyen de un metal buen conductor del calor, normalmente cobre o aluminio. Hay dos tipos básicos de radiadores:

- Planos (láminas planas, incluyendo la capsula)
- Aleteados (diescast, extrusionados)

En ocasiones se utilizan pequeños clips aleteados para favorecer la disipación en transistores de baja potencia.

Como la resistencia térmica  $R_{h-amb}$  es en función del área (A) del radiador en contacto con el aire. Es la razón de las aletas y a más se procura que la superficie sea rugosa (al contrario que en la zona de contacto con la capsula del semiconductor).

Los radiadores deben instalarse en lugares de fácil acceso de entrada y salida de aires y con sus aletas en sentido vertical para favorecer la circulación del aire para que se establezca un efecto de tiro por la ascensión del aire caliente.



#### 5.4 El subsistema de humidificación

El principio de funcionamiento del sistema de humidificación debe tender a ser lo más práctico posible tanto en coste como en funcionamiento. Su configuración se observa en la siguiente figura:

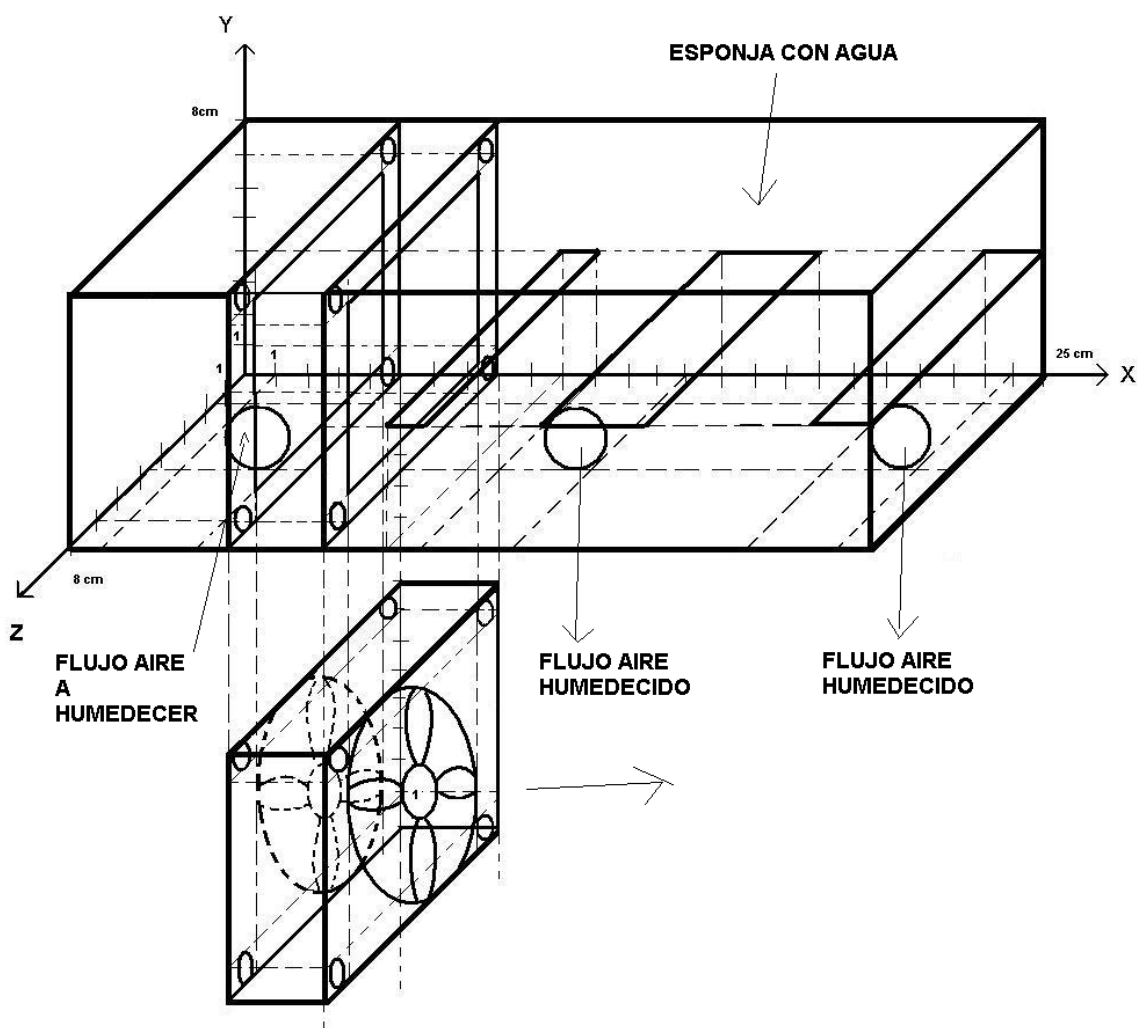


Fig.5.6 Esquema en bloques del sistema de humidificación

#### 5.4.1 Interacción con la cámara de refrigeración

La cámara de refrigeración mantiene la humedad que se desea simplemente uniendo mediante un tubo el sistema con la cámara. Si se desea más humedad se genera aire húmedo mediante el filtrado del aire a través de una esponja con agua, este aire se extrae de la misma cámara para tratarlo para después ser impulsado con la bomba de aire. En este sistema se desea una humedad por encima de una determinada. La temperatura en la cámara también actuará sobre el grado de humedad y el punto de rocío. No se prevé ningún control sobre el punto de rocío.

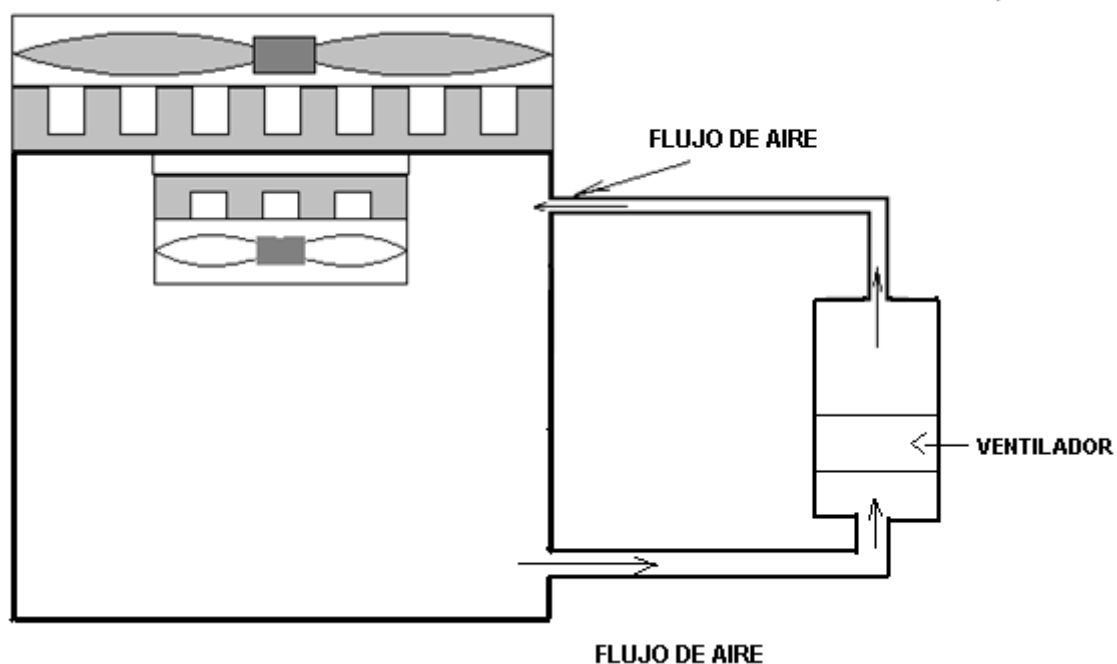


Fig.5.7. Interacción con la cámara.

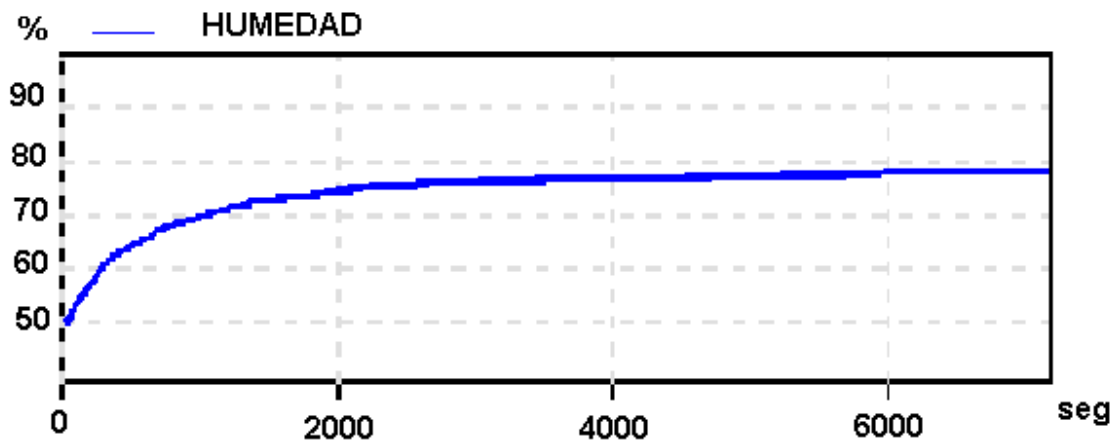


Figura 5.8 Gráfica aporte humedad.

En la gráfica anterior se observa la evolución de la humedad en el modo de generación.

A lo largo del tiempo la humedad va aumentando su valor y con el sistema se llega a una humedad aproximadamente del 80 %. Interesa que no aumente desproporcionadamente y mantenerla en el límite requerido

### 5.5 Modelo eléctrico equivalente de la cámara de refrigeración

El flujo de calor puede expresarse como:

$$Q = C_p \cdot m \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{ecuación 5.4}$$

Donde C es la capacidad calorífica específica y m es la masa.

Para otra expresión de Q en general se podría poner como:

$$Q = \frac{1}{R} \cdot (T_1 - T) \quad \text{ecuación 5.5}$$

Combinando:

$$\frac{1}{RC}(T_1 - T) = \frac{\partial T}{\partial t} \quad \text{ecuación 5.6}$$

Donde  $C = C_p \cdot m$

Con  $T(0) = T_0$  (condición inicial). La solución es:

$$T(t) = T_1 - (T_1 - T_0) \cdot e^{-\frac{1}{RC}t} \quad \text{ecuación 5.7}$$

El modelo equivalente sencillo mediante un circuito eléctrico es:

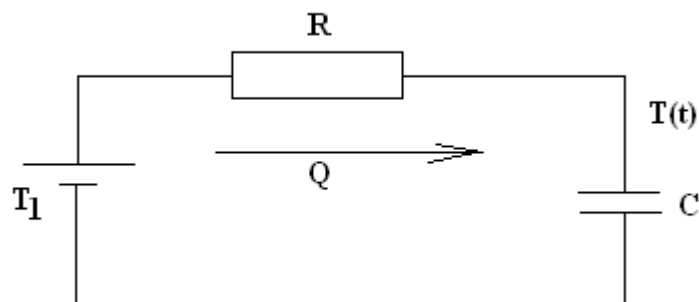


Fig.5.9 Modelo eléctrico de la cámara de refrigeración

La temperatura  $T$ , representa la temperatura del sistema de refrigeración.  $T(t)$  es la evolución en el tiempo de la temperatura en la masa de aire de la cámara de refrigeración. Y donde  $C$  representa la masa del volumen de aire y  $Q$  el flujo de calor (o frío).

## 5.6 El subsistema de deshumidificación

El sistema de deshumidificación a utilizar para nuestro proyecto puede ser muy variado, pero se ha dado prioridad a un sistema más práctico y se ha cogido el sistema que menos perjudique a nuestro producto en cuestión (los puros).

Hay sistemas que aplicando agua destilada con iones de plata regula automáticamente la humedad a la cifra deseada que es un 70 %, pero este líquido puede impregnar aromas no deseados por el consumidor, y por este motivo se ha ideado otro sistema para quitar humedad de nuestra cámara.

El sistema desarrollado se basa únicamente en hacer una pequeña recirculación de aire combinado con renovación de aire; con esta pequeña renovación de aire lo que se consigue es mezclar el aire de la cámara, que estará alrededor del 75 % de humedad relativa con el aire ambiental que rodea la cámara; puesto que la cámara es de cedro y está diseñada para interior siempre estará en unos valores de humedad relativa bajos, con lo cual el mezclar los dos aires con sus respectivos valores de humedad relativa conseguirá la regulación de la humedad en la cámara cuando esté por encima del 70%.

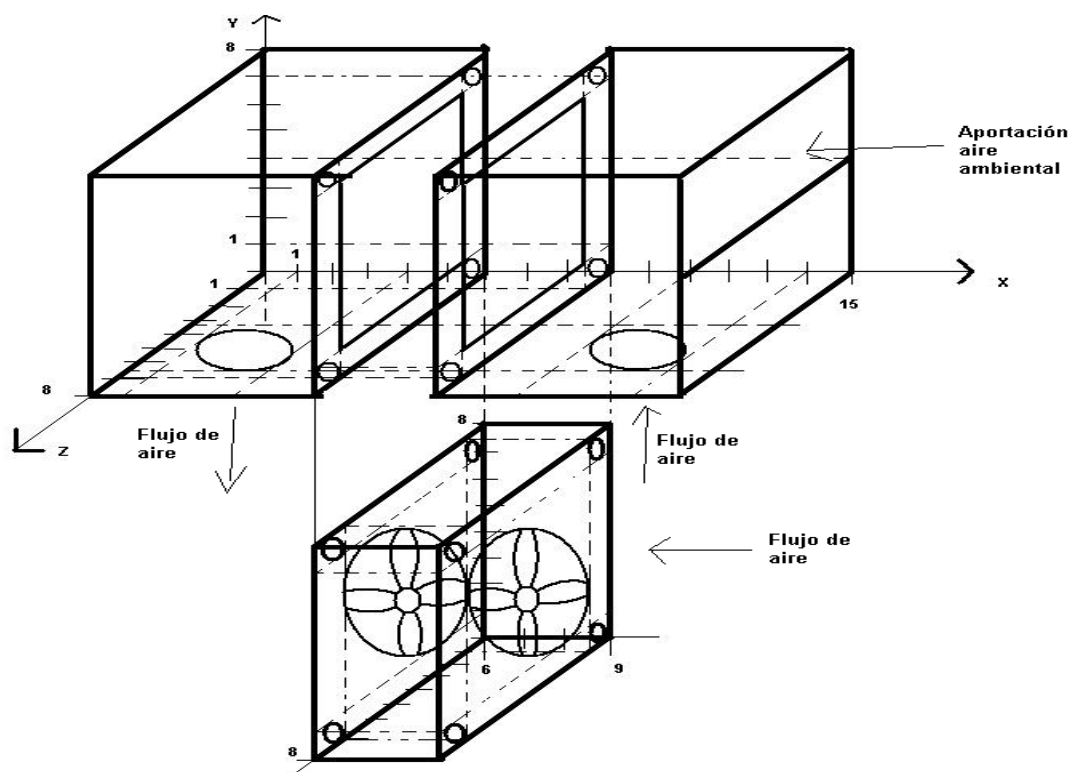


Fig.5.10 Esquema del sistema de deshumidificación de la cámara.

### 5.6.1 Interacción con la cámara de refrigeración

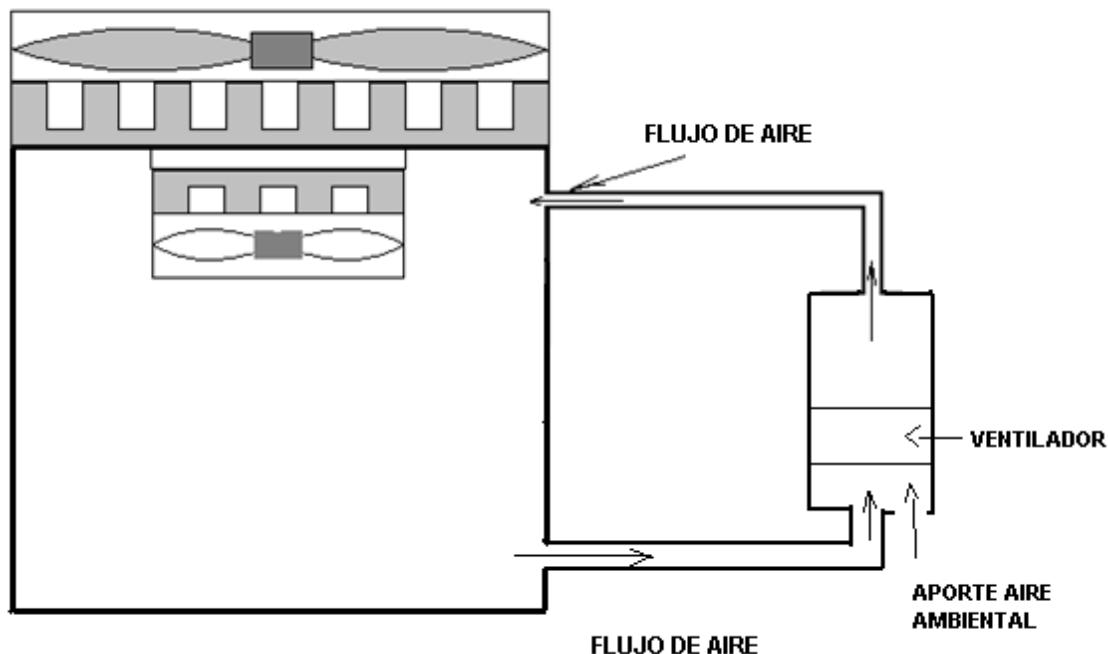


Fig.5.11 Esquema de interacción con la cámara

El sistema de interacción es similar a la generación de humedad. El sistema de control propuesto actuará sobre el ventilador y cuando este se ponga en funcionamiento hará la recirculación de aire con una pequeña parte de aire ambiental que tendrá menos humedad y esta mezcla hará bajar la humedad hasta el valor deseado.

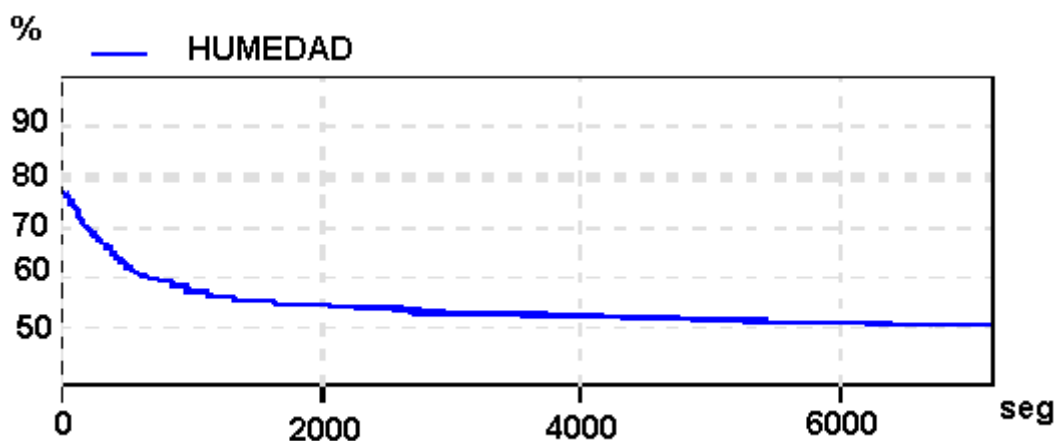


Fig.5.12 Gráfica quitar humedad

En la gráfica observamos la capacidad que tiene nuestro sistema creado para quitar humedad. Se ha de decir que el sistema parte de la prueba anterior de poner humedad con lo cual existe una humedad muy alta y así poder probar como rinde nuestro sistema para quitar humedad. Se comprueba que a lo largo del tiempo nuestro sistema logra bajar la humedad alrededor de unos 50 %.

Hay que mencionar que la prueba se realizó con la humedad ambiental de unos 45 % con lo cual si dejáramos nuestro sistema mucho tiempo tendería a esos 45 % de humedad ambiental.

## Capítulo 6: El sistema de control electrónico



## 6 El sistema de control electrónico

En este proyecto se describirá un control realimentado del dispositivo termoelectrónico TEC para mantener la temperatura y la humedad de la cámara alrededor de un valor deseado.

En cuanto a la temperatura, la principal característica de esta clase de control es la que la corriente de la célula Peltier continúa, es decir, esta activa o bien no pasa ninguna corriente por ella. De esta manera una misma forma, la que está en contacto con la cámara, puede enfriar o ser pasiva. Este cambio permite que un único control pueda ser utilizado para mantener la temperatura de un objeto alrededor de valores superiores o inferiores a la temperatura ambiente ya que el aislamiento no es perfecto y la cámara cuando la célula está pasiva tiende a incrementar su temperatura.

En esta clase de control, el dispositivo termoeléctrico no siempre está en funcionamiento. Cuando el TEC enfría, la temperatura del objeto desciende con bastante rapidez, y cuando está pasiva, es decir, no pasa corriente, la temperatura asciende con más lentitud que es lo que se desea.

El hecho de que el TEC no esté en funcionamiento implica que el módulo reposa durante cierto tiempo correspondiente a un semicírculo de conmutación. Este funcionamiento cuida al dispositivo y hace que su vida útil sea mayor.

El control que se desea diseñar debe permitir fijar una temperatura alrededor de la cual se mantenga el objeto. También debe poder controlar el rango de variación de la temperatura del objeto respecto a la temperatura deseada.

En cuanto a la humedad el control es totalmente similar y el control debe permitir cortar la acción del humidificador cuando se llegue a un grado de humedad relativa determinada por el control y que el usuario debe indicar. Se trata de un simple interruptor que solamente actuará cuando el nivel de humedad relativa sea inferior a un valor dado. En este caso se desea que el nivel de humedad sea alto para el tipo de aplicación.

## 6.1 Diagrama de bloques del control electrónico

El diagrama básico del sistema de control corresponde a un sistema realimentado donde se detectan los parámetros deseados en la cámara (objeto a controlar) como son la temperatura y la humedad y se compara con una temperatura y humedad de referencia que actuará debidamente sobre el objeto a controlar mediante la planta (que puede ser un simple relé):

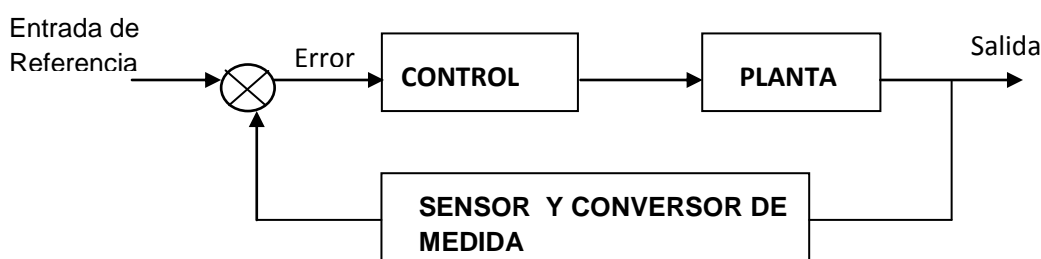


Fig.6.1 Diagrama de bloques básico de control de lazo cerrado.

La explicación nos da en referencia al control de temperatura, pero el control de humedad es exactamente igual. En este diagrama de bloques se distinguen los elementos fundamentales de un sistema de control. La planta representa el comportamiento de un objeto que se desea controlar. La salida del sistema es la variable del objeto sobre el cual se quiere ejercer un control. En este caso se trata de la temperatura de un objeto.

Para poder obtener información de esta temperatura se deberá diseñar un bloque de sensado y conversión de medida, de forma que se transforma la variable física (temperatura) en una variable eléctrica que la represente. La señal de salida se deberá comparar con la entrada de referencia para obtener información sobre la diferencia entre las dos. Con esta información, el control podrá actuar en consecuencia sobre el objeto.

El tipo de control que se desea debe conseguir que la temperatura del objeto sea una evolución como la que muestra en la figura.

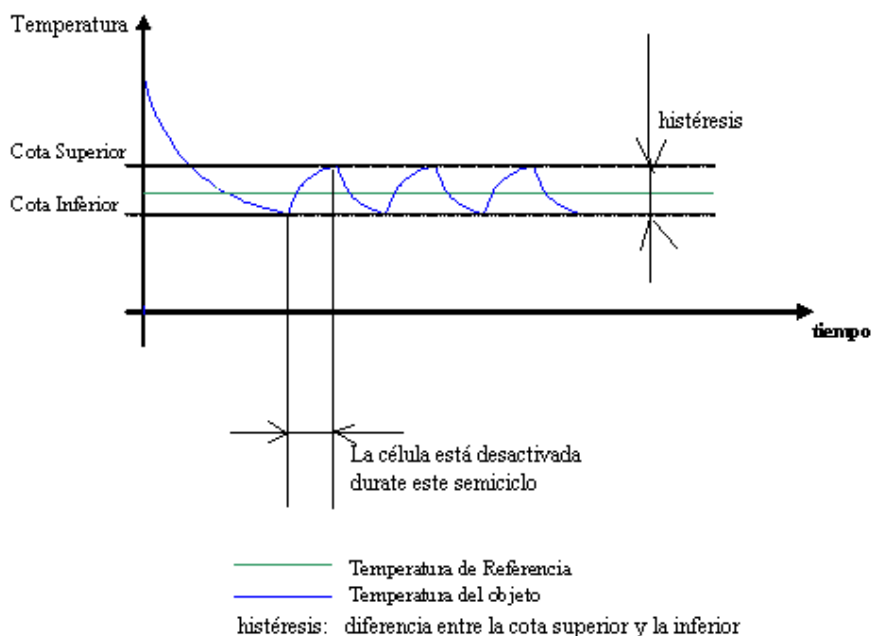


Fig.6.2 Evolución de la temperatura del objeto deseado

Donde la temperatura del objeto estaría acotada entre dos valores alrededor de un valor medio que sería la temperatura deseada o de referencia. El hecho que la temperatura del objeto está acotada entre dos valores alrededor de la temperatura deseada, equivale a tener el error existente entre la temperatura del objeto y la deseada entre dos valores alrededor de cero. El semiciclo de subida de la temperatura corresponde al momento en el que la Peltier está pasiva.

Todo el diagrama anterior será implementada físicamente mediante un controlador integrado mediante un microcontrolador (en concreto posee un tipo de PIC con conversión analógica digital de entrada con una resolución de 8 bits). Se trata del controlador ALTEC que permite controlar la temperatura y la humedad tal como se explicó en el punto anterior. Posee dos relés de control sobre la planta (para la temperatura y la humedad). El siguiente diagrama muestra el conectado de control.

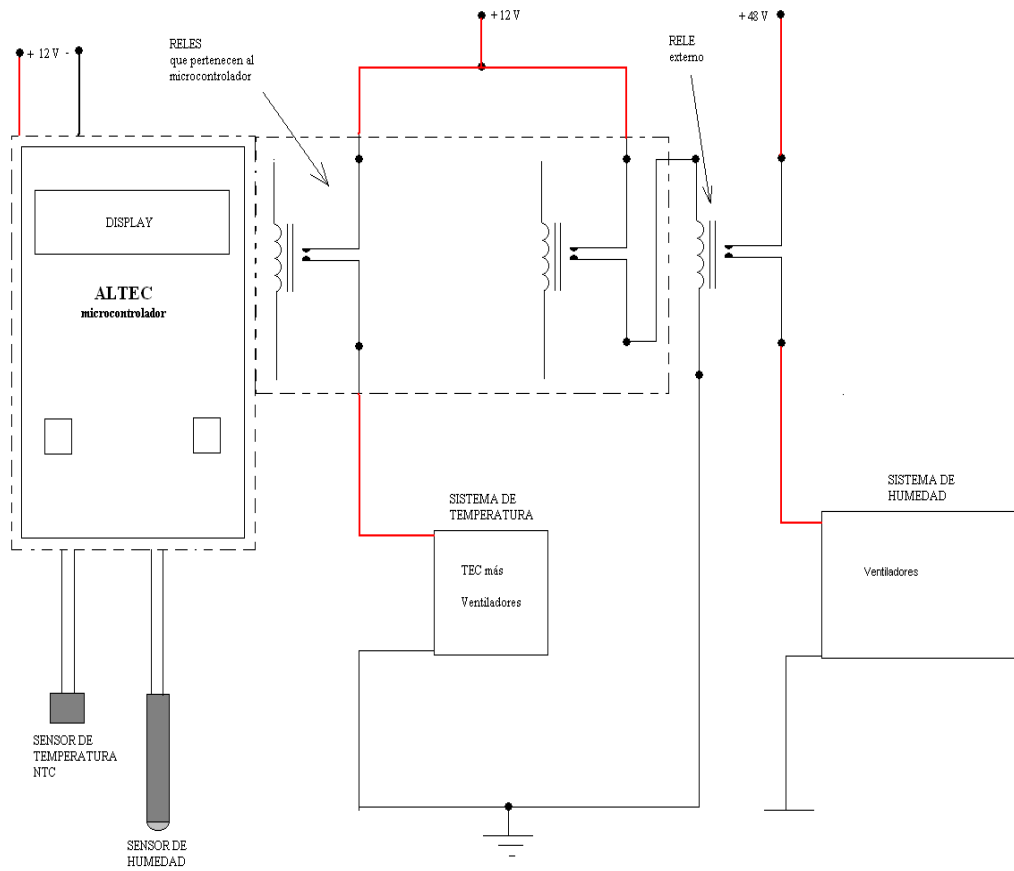


Fig.6.3 Sistema de control y relés de conectedo

## 6.2 El controlador ALTEC basado en microcontrolador

El controlador ALTEC MTC35-F40 es un sistema de control tipo ON/OFF para temperatura y humedad basado en microcontrolador. El controlador tiene dos salidas de relés que funcionan según unos parámetros predefinidos. En la siguiente figura se observa el panel frontal y los diferentes botones de control.

### Front Panel Layout

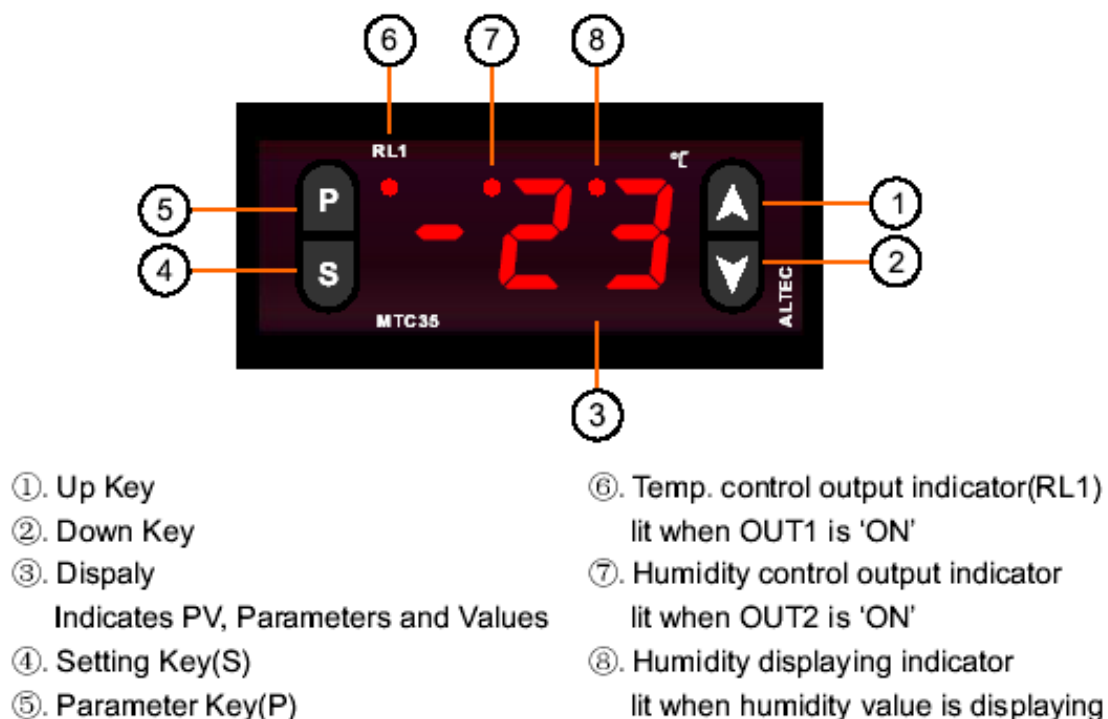


Fig.6.4 Botones de control y display

Las conexiones eléctricas son las siguientes:

## Electrical Connection

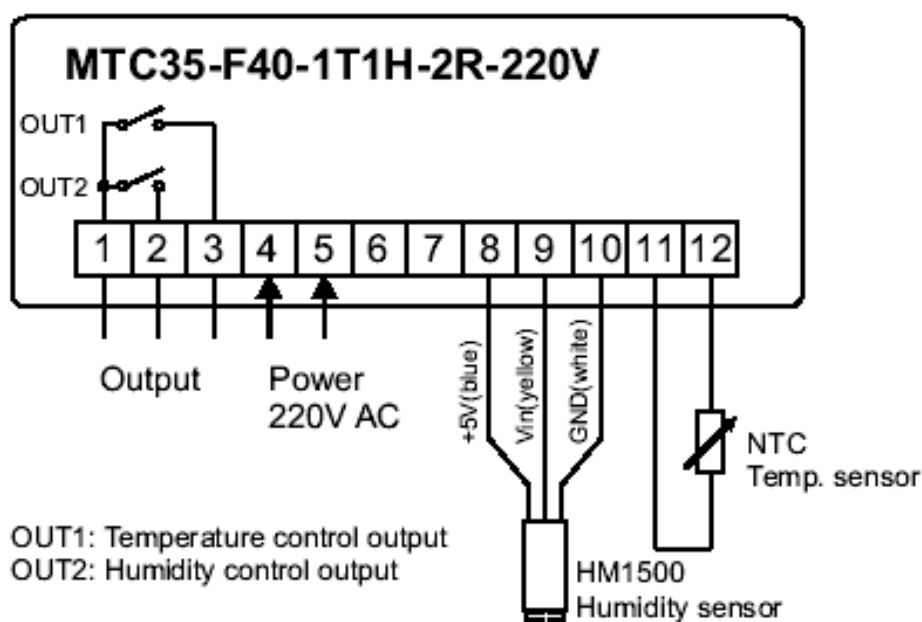


Fig.6.5 Conexiones eléctricas

Una vez realizadas las conexiones de los sensores y en habilitar el controlador después de 3 segundos la medida de la temperatura o la humedad aparece en el display. Mediante el botón S es posible alternar el visionado de la temperatura y de la humedad. Cuando aparece la medida de humedad se enciende el punto indicado como 8. El ajuste de los diferentes parámetros por parte del usuario es posible realizarlo presionando el botón P durante un segundo. Entonces aparece en el display el parámetro a ajustar (ejem: L1 que es el límite de la temperatura). Pulsamos S, aparece el valor del parámetro (cambia L1 para una temperatura (ejem: 25° C)). Mediante los botones 1 y 2 incrementamos o disminuimos variamos los parámetros según los requerimientos. Marcando P consecutivamente aparecen los diferentes parámetros. En la siguiente figura se observan todos los parámetros que se pueden controlar.

SN	Mnemonic	Parameter	Adjustable Range	Parameter Description
1	L1	Temperature setpoint	SPH~SPL	Operation parameter
2	HY1	Temp. hysteresis	1~10°C	
3	L2	Humidity setpoint	0~100% RH	
4	HY2	Humi. hysteresis	1~20% RH	
5	SP H	Temp. setpoint high limit	-50°C~150°C	limit the temperature adjustable range U
6	SP L	Temp. setpoint low limit	-50°C~150°C	
7	rt1	OUT1 relay Min. off time	0~10 minutes	Compressor protection
8	PF1	Temperature sensor failure output	on OFF	OUT1 'ON' while sensor failure OUT1 'OFF' while sensor failure
9	Rd1	Temp. sensor adjustment	-5~5°C	
10	Rt1	Temperature control action	d r rEu	Direct(cool) Reverse(heat)
11	rt2	OUT2 relay Min. off time	0~10 minutes	Compressor protection
12	PF2	Humidity sensor failure output	on OFF	OUT2 'ON' while sensor failure OUT2 'OFF' while sensor failure
13	Rd2	Humi. sensor adjustment	-10~10% RH	
14	Rt2	Humidity control action	d r rEu	Direct(Dehumidificate) Reverse(Humidificate)

Fig.6.6 Tabla de parámetros a controlar

En la siguiente gráfica se observan las acciones de histéresis sobre los parámetros a controlar. El margen de histéresis también se puede controlar.

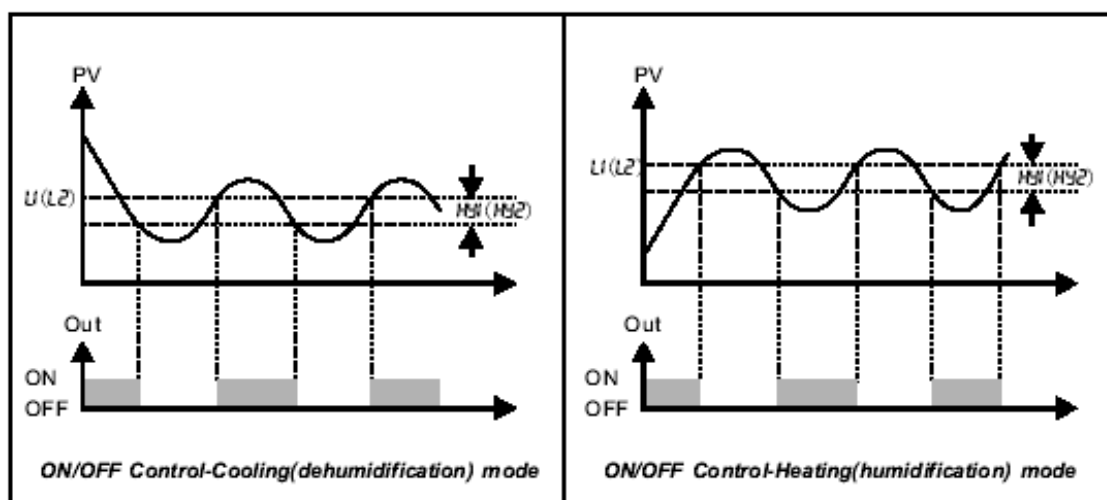


Fig.6.7 Acción de la histéresis

Los datos generales sobre el rango de medida de los sensores y otras características se explican en la siguiente figura.

### Technical Data

<b>Temperature sensor</b>	NTC, PVC Wire, 2.0m Range: -50~150 °C Accuracy: 1 °C
<b>Humidity sensor</b>	HM1500 Range: 0~100% RH Accuracy: 3% RH
<b>Sample rate</b>	125ms
<b>Relay contact rating</b>	5(8)A/250VAC
<b>Control algorithm</b>	ON/OFF
<b>Power supply</b>	220VAC, ≤2.0W
<b>Dimensions</b>	W78×H35×D78mm
<b>Environmental</b>	Temp: -20~55 °C, Rel. Humidity: ≤85%

Fig.6.8 Algunos datos técnicos



Fig.6.9 Controlador de temperatura y humedad MTC35-F40



Para el sistema desarrollado se requiere de 2 controladores ALTEC's junto con una fuente de alimentación pequeña de 12 V para activar los ventiladores necesarios para la humedad. Se utiliza unos relés para poder ampliar el rango de corriente y conmutación.

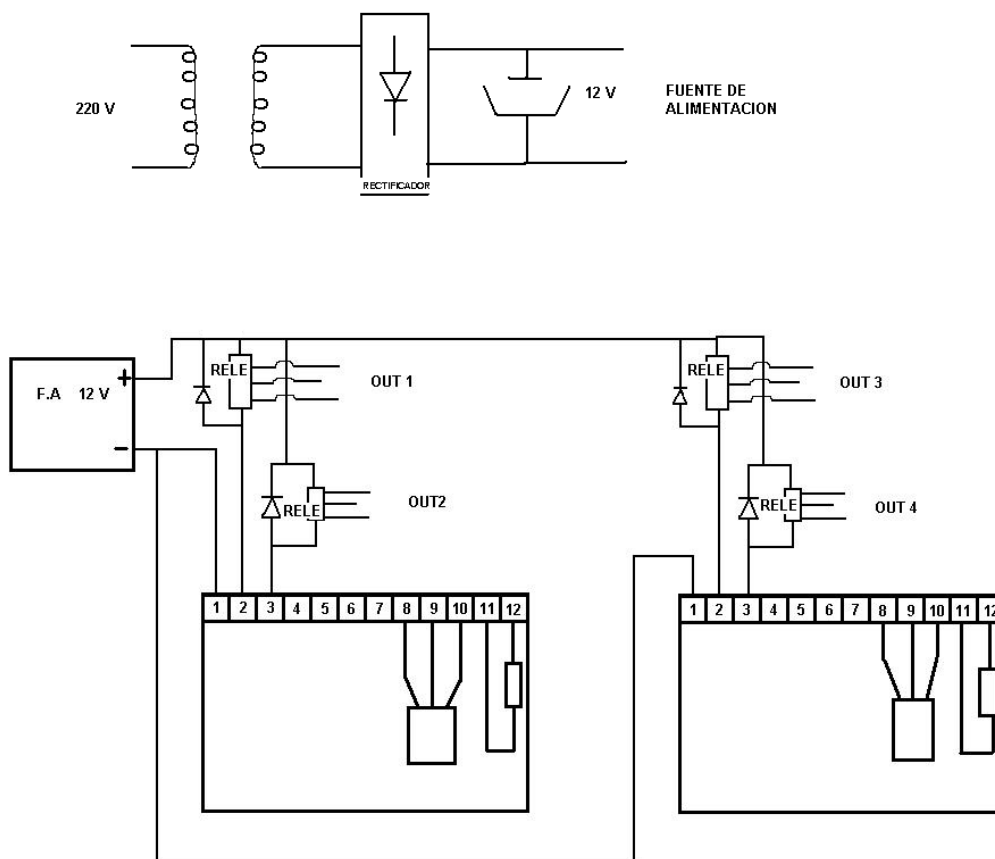


Fig.6.10 Esquema eléctrico sistema de control

OUT 1: es la salida del sistema de control que actuará cuando necesitemos frio.

OUT 2: es la salida del sistema de control que actuará cuando necesitemos humedad.

OUT 3: es la salida del sistema de control que actuará cuando necesitemos calor.

OUT 4: es la salida del sistema de control que actuará cuando necesitemos quitar humedad.

El circuito impreso correspondiente es:

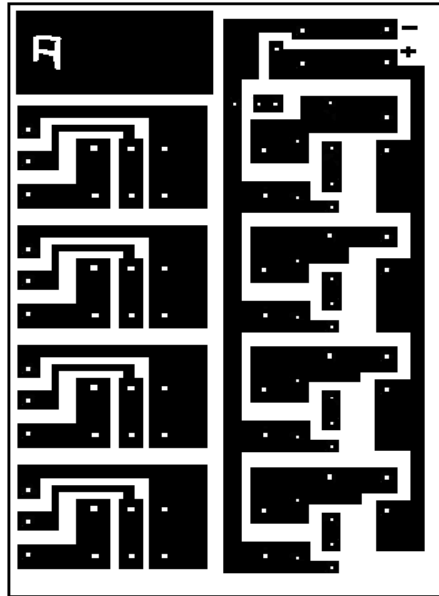


Fig.6.11 Layout Sistema Control.

Queda como la foto siguiente:

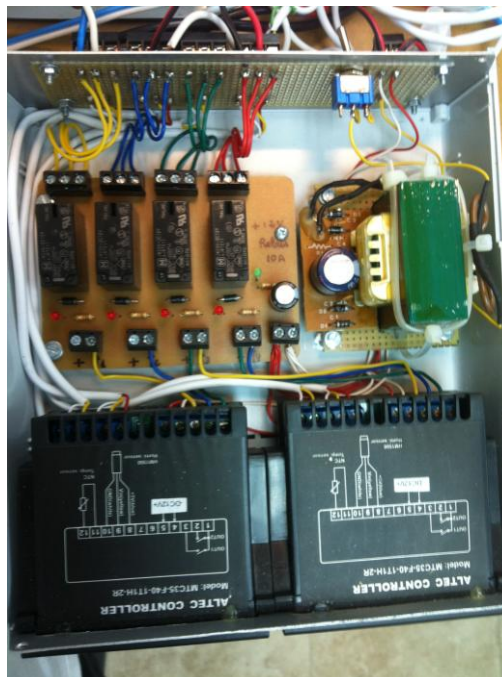


Fig.6.12 Foto sistema control

### **6.3 Los dispositivos de sensado**

Un sensor es un dispositivo que detecta manifestaciones de calidades o fenómenos físicos, como la energía, la temperatura, la radiación electromagnética, la velocidad, la aceleración, la cantidad, etc. Muchos de los sensores son eléctricos o electrónicos, aunque también existen otros tipos. Un sensor es un tipo de transductor que transforma la magnitud que se quiere medir, en otra, que facilita su medida. Pueden ser de indicación directa (p.ej. un termómetro de mercurio) o pueden estar conectados a un indicador (posiblemente a través de un convertidor analógico a digital, un computador y un display) de modo que los valores detectados puedan ser leídos por un humano.

En este proyecto se utilizará un sensor de temperatura y otro de humedad. Los sensores de temperatura más empleados son los termopares y los termistores. En concreto el controlador ALTEC utiliza termistores del tipo NTC. En cuanto a la humedad el sensor necesario para que funcione correctamente es el más restringido. Se trata de un sensor de humedad analógico HM 1500.

#### **6.3.1 Dispositivos sensores de temperatura**

Los dispositivos que miden la temperatura se diferencian esencialmente según el rango de temperaturas. Los más adecuados para el rango de temperatura utilizada en estos proyectos son termopares y transmisores.

Un termopar es un circuito formado por dos materiales distintos que produce un voltaje que es función de la diferencia de temperatura entre uno de los extremos llamado “punto caliente” y otro llamado “punto frío”. En electrónica, los termopares son ampliamente usados como sensores de temperatura. Son económicos, intercambiables, tienen conectores estándar y son capaces de medir un amplio rango de temperaturas. Su principal limitación es la exactitud ya que los errores del sistema inferior a un grado centígrado son difíciles de obtener. El grupo de termopares conectados en serie recibe el nombre de termopila. Tanto los termopares como las termopilas son muy usadas en aplicaciones de calefacciones a gas. El funcionamiento de termopar fue explicado en el punto 2.1.1.

Un termistor es una resistencia eléctrica que varía su valor en función de la temperatura. Existen dos clases de termistores: NTC y PTC.

Un termistor NTC (Negative Temperature Coefficient) es una resistencia variable que su valor va decreciendo a medida que aumenta su temperatura. Son resistencias de coeficiente de temperatura negativo y están constituidas por un cuerpo semiconductor que tiene el coeficiente de temperatura elevado, es decir, su conductividad crece muy rápidamente con la temperatura. Se utilizan en su fabricación óxidos semiconductores de níquel, zinc, cobalto, etc.

La relación entre la resistencia y la temperatura no es lineal sino exponencial:

$$R = A * e^{\frac{B}{T}}$$

ecuación 6.1

Donde A y B son constantes que dependen del termistor.

La característica tensión-intensidad (V/I) de un termistor NTC presenta un carácter peculiar ya que, cuando las corrientes que lo atraviesan son pequeñas, el consumo de potencia ( $R * I^2$ ) será muy pequeño para registrar aumentos apreciables de temperatura, o el que es igual, descensos en su resistencia óhmica; en esta parte de la característica, la relación tensión-intensidad será prácticamente lineal y en consecuencia cumplirá la ley de Ohm.

Si seguimos aumentando, la tensión aplicada al termistor, se llegará a un valor de intensidad en que la potencia provocará aumentos de temperatura suficientemente grandes como para que la resistencia del termistor NTC disminuya apreciablemente, incrementando la intensidad hasta que se establezca el equilibrio térmico. Ahora nos encontramos en una zona de resistencia negativa en la que disminuciones de tensión corresponde aumento de intensidad.

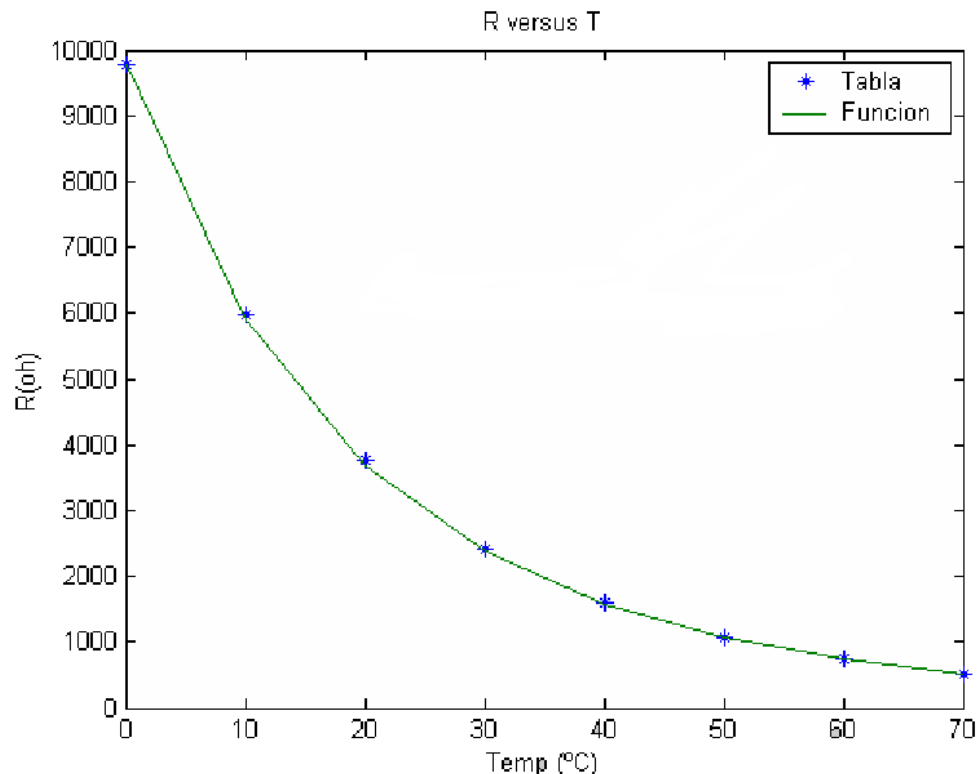


Fig.6.13 Curva característica de una NTC

Un termistor PTC (Positive Temperature Coefficient) es una resistencia variable, el valor de la cual se ve aumentada a medida que aumenta la temperatura. Los termistores PTC se utilizan en una gran variedad de aplicaciones: limitación de corriente, sensor de temperatura, desmagnetización y para la protección contra el calentamiento de equipos tales como motores eléctricos. También se utiliza en indicadores de nivel, para provocar retardos en circuitos, como termostatos y como resistores de compensación.

El termistor PTC pierde sus propiedades o puede comportarse eventualmente de una forma similar al termistor NTC si la temperatura llegara a ser muy alta. Las aplicaciones de un termistor PTC están, por tanto, restringidas a un determinado margen de temperaturas. Hasta un determinado valor de voltaje, la característica I/V sigue la ley de Ohm, pero la resistencia aumenta cuando la corriente que pasa por el termistor PTC provoca un calentamiento y se llega a la temperatura de conmutación. La característica I/V depende de la temperatura ambiente y del coeficiente de transferencia de calor con respecto a dicha temperatura ambiente.

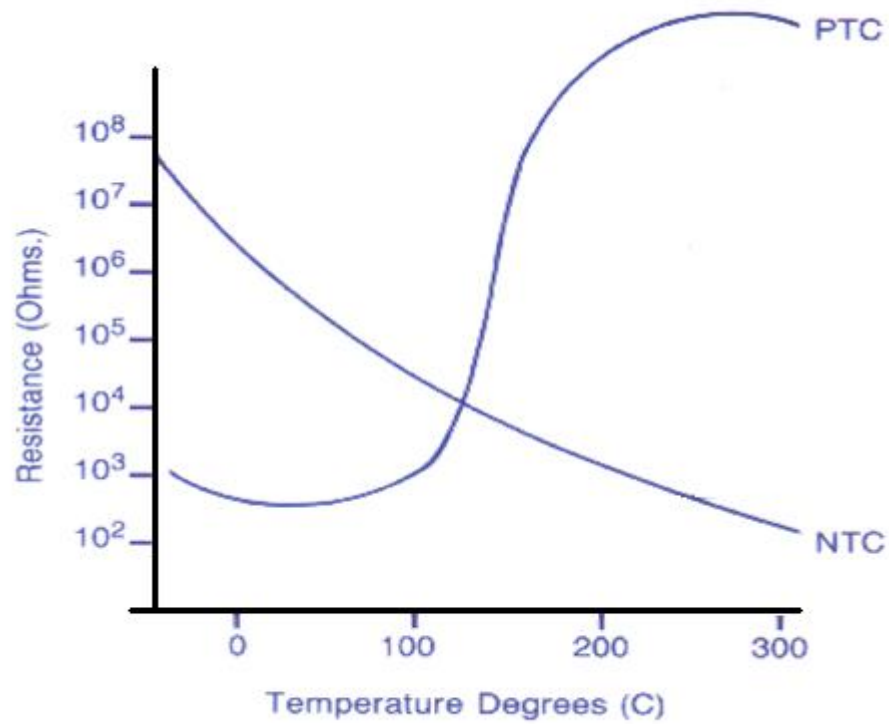


Fig.6.14 Comparación entre las curvas de una PTC y una NTC

La PTC padece un brusco aumento de resistencia a partir de los 100° C mientras que el rango de funcionamiento de la NTC es más amplio siguiendo la misma ley.

### 6.3.2 NTC utilizada

La resistencia NTC que se utiliza es común y presenta una resistencia de unos 5 k $\Omega$  a los 25 $^{\circ}$  C de temperatura. La gráfica de su comportamiento es la siguiente.

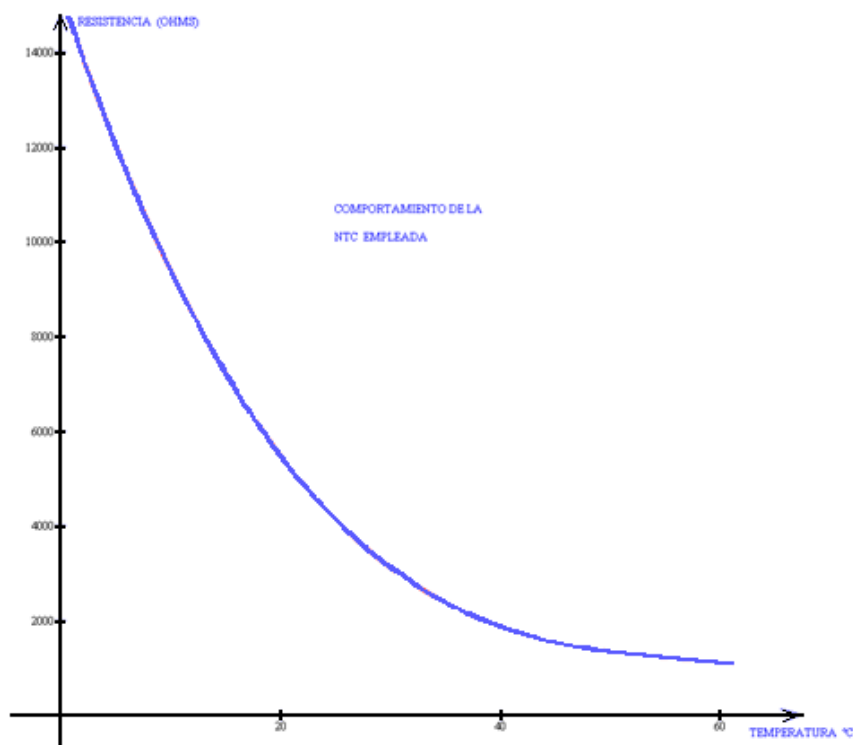


Fig.6.15 Gráfica de la resistencia en función de la temperatura de la NTC utilizada en el controlador

### 6.3.3 Dispositivos sensores de humedad. Analógicos y digitales

Se puede decir que la humedad es una propiedad más difícil de definir y medir que sus parámetros asociados como pueden ser la presión y la temperatura. La medida de la humedad es un proceso verdaderamente analítico en el cual el sensor ha de estar en contacto con el ambiente de proceso a diferencia de los sensores de presión y temperatura que invariablemente se encuentran aislados de los procesos por protecciones conductoras del calor. Esto tiene, por supuesto, consecuencias en la contaminación y degradación del sensor en niveles variables dependiendo de la naturaleza del ambiente.

Parámetros típicos para determinar la humedad:

### Medida de la humedad relativa

La medida de la humedad relativa consiste en la relación entre la presión parcial del vapor de agua en el gas del que se trate y la presión de saturación del vapor, a una temperatura dada. Por tanto la humedad relativa es función de la temperatura. La medida es expresada como un porcentaje. La humedad relativa es un parámetro utilizado principalmente en aplicaciones ambientales (ej. Tratamientos de aire) o medidas meteorológicas ya que impacta directamente en el confort humano. Cuando los niveles de humedad relativa son bajos puede producirse electricidad estática que daña el equipo electrónico.

### Medida del punto de rocío/escarcha (D/F PT)

El punto de rocío es la temperatura, por encima de los 0° grados, al cual el vapor de agua presente en el gas condensa. El punto de escarcha es la temperatura, por debajo de 0° grados, a la cual el vapor se cristaliza en hielo. El punto D/F PT es función de la presión del gas independientemente de su temperatura, y por tanto se lo considera una magnitud fundamental. Los puntos de rocío y de escarcha son utilizados cuando la sequedad de un gas es relevante, esto es en procesos en los cuales debe evitarse la condensación del vapor de agua a bajas temperaturas. El punto de rocío se usa también como un indicador del contenido de vapor de agua en procesos de alta temperatura como el secado industrial.

### Partes por millón (PPM)

Expresión del contenido de vapor de agua por fracción de volumen (PPMv) o, si se multiplica por la relación entre el peso molecular del agua y del aire como PPMw. Este parámetro es más difícil de conceptualizar porque está fuera del alcance del cuerpo humano detectar los cambios de esta magnitud en la atmósfera. Este término y los asociados como pueden ser: el término PPM o otros asociados como la relación de mezcla, el porcentaje de volumen y la humedad específica, se utilizan cuando el vapor de agua es una impureza o un componente en una mezcla de gases que participan en un proceso industrial. Un ejemplo práctico de su aplicación son los gases de uso medicinal, como pueden ser el óxido nitroso, dióxido de carbono y oxígeno cuando son utilizados en operaciones quirúrgicas que deben tener un contenido de humedad menor de 60ppm.



Consideración de los distintos tipos de sensores y sus aplicaciones.

No existe una tecnología de medición que sea apropiada para todas las aplicaciones. El estudio se centrará en las Técnicas para la medición de la humedad relativa.

Las medidas de humedad relativa pueden ser hechas por sensores basados en: psicometría, desplazamiento, resistivos, capacitivos y por absorción de líquido.

#### Psicometría para bulbo húmedo/bulbo seco

La psicometría desde hace tiempo es uno de los métodos más populares para el monitoreo de la humedad debido a su simplicidad y a su inherente bajo coste. Un psicómetro industrial típico consiste en un par de termómetros eléctricos acoblados, uno de los cuales opera en estado húmedo. Cuando el dispositivo funciona, la evaporación de agua enfría el termómetro húmedo, resultando una diferencia medible con la temperatura ambiente o la temperatura del bulbo seco. Cuando el bulbo húmedo llega a su máxima caída de temperatura, la humedad puede determinarse comparando la temperatura de los dos termómetros en una tabla psicométrica.

El psicómetro provee una alta presión en las proximidades del punto de saturación (100% RH) y es fácil de operar y reparar, por otro lado a baja humedad relativa (menos del 20%) el acople es pobre y el mantenimiento debe intensificarse. No se puede utilizar a temperaturas menores de 0° y, siendo el propio psicómetro una fuente de humedad, no se puede utilizar en ambientes pequeños o cerrados. Los psicómetros son utilizados típicamente para el control ambiental en recintos.

## Sensores capacitivos

Los sensores capacitivos (polímero orgánico capacitivo) son diseñados normalmente con platos paralelos con electrodos porosos o con filamentos entrelazados con el sustrato. En el material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios de nivel de humedad. Los cambios resultados en la constante dieléctrica causa una variación en el valor de la capacidad del dispositivo por el que resulta una impedancia que varía con la humedad. Un cambio en la constante dieléctrica aproximadamente 30% corresponde a una variación de 0-100% en la humedad relativa.

El material sensor es muy fino para llegar a grandes cambios en la señal de humedad. Esto permite al vapor de agua entrar y salir fácilmente y el secado rápido para el sencillo calibrado del sensor.

Este tipo de sensor es especialmente apropiado para un ambiente de alta temperatura porque el coeficiente de temperatura es bajo y el polímero dieléctrico puede soportar altas temperaturas. Los sensores capacitivos son también apropiados para aplicaciones que requieran un alto grado de sensibilidad a niveles bajos de humedad, donde proveen una respuesta relativamente rápida. A valores de humedad superiores a los 85%, no obstante esto, el sensor tiene una tendencia a saturar y se transforma en no lineal.

La salida de todos los sensores de humedad por absorción (capacitivos, resistivos, de film resistivo, etc.) se ven afectados sensiblemente por la temperatura o la humedad relativa. A causa de esto se utilizan mecanismos de compensación de temperatura en aplicaciones que necesiten alto nivel de precisión o un amplio rango de temperaturas. Cuando se compensa la temperatura de un sensor lo mejor es hacer la medida de temperatura tan cerca como sea posible del área activa del sensor, esto es en el mismo micro-ambiente. Esto es especialmente verdadero cuando se combina la medida de RH y la temperatura para encontrar el punto de rocío.

## Conversión Analógico-Digital

La señal que transforma el sensor de humedad suele ser eléctrica (podría ser simplemente visual). Esta señal eléctrica no sigue una función lineal en relación con el parámetro físico medido que en este caso es la humedad. En consecuencia se debe aplicar una cadena típica de instrumentación que linealice la señal eléctrica y la conforme adecuadamente para ser utilizada. Cuando se habla de conformar la señal se entiende variar su forma de manera controlada, por ejemplo, la amplitud, la frecuencia, etc. La señal obtenida sigue siendo de naturaleza analógica. Para que pueda ser aplicada a un sistema informático o circuitos electrónicos digitales hay que digitalizarla dicha señal analógica. Por esto, se utiliza las conversiones analógico-digitales. La siguiente figura muestra la cadena de conversión mencionada.

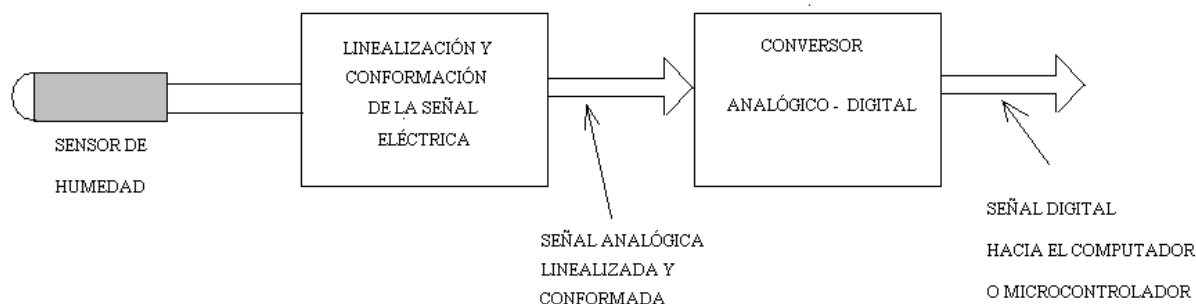


Fig. 6.16 Cadena de conversión de la señal

### 6.3.4 El dispositivo utilizado

El controlador ALTEC utilizado en este proyecto utiliza un sensor de tipo capacitivo HM 1500. Este sensor tiene una medida relativamente pequeña, no le afecta la inmersión en agua, es bastante estable. Los sensores capacitivos se saturan con mucha facilidad con humedades altas. Este sensor dispone de un mecanismo para paliar esta saturación



Fig.6.17 Sensor de humedad HM 1500

Las características de este dispositivo se muestran en la siguiente figura.

### CHARACTERISTICS

( $T_a = 23^\circ\text{C}$ ,  $V_s = 5\text{Vdc}$ ,  $R_L > 1\text{M}\Omega$  otherwise stated)

Characteristics	Symbol	Min.	Typ.	Max.	Unit.
Humidity measuring range	RH	1		99	% RH
Relative Humidity accuracy (10 to 95 % RH)	RH		+/- 3	+/- 5	% RH
Voltage supply	$V_s$	4.75	5.00	5.25	V
Nominal output @ RH = 55 %	$V_{out}$	2.42	2.48	2.54	V
Current consumption	$I_c$		0.4	0.8	mA
Temperature coefficient (10 to 50 °C)	$T_{cc}$		+ 0.1		% RH/°C
Averaged Sensitivity from 33% to 75% RH	$\Delta\text{mV} / \% \text{RH}$		+ 25		mV / % RH
Sink current capability ( $R_L = 15 \text{ k}\Omega$ )	$I_s$			300	$\mu\text{A}$
Recovery time after 150 hours of condensation	$t$		10		s
Humidity Hysteresis			+/-1.5		% RH
Long term stability			0.5		% RH/yr
Response time (33 to 76 % RH, static, @ 63 %)	$\tau$		10		s
Output impedance	$Z$		70		$\Omega$

Fig.6.18 Características del sensor de humedad HM 1500

Este sensor dispone de un bloque interno de linealización y la conformación de la señal analógica. El comportamiento lineal en su salida se muestra en la siguiente figura.

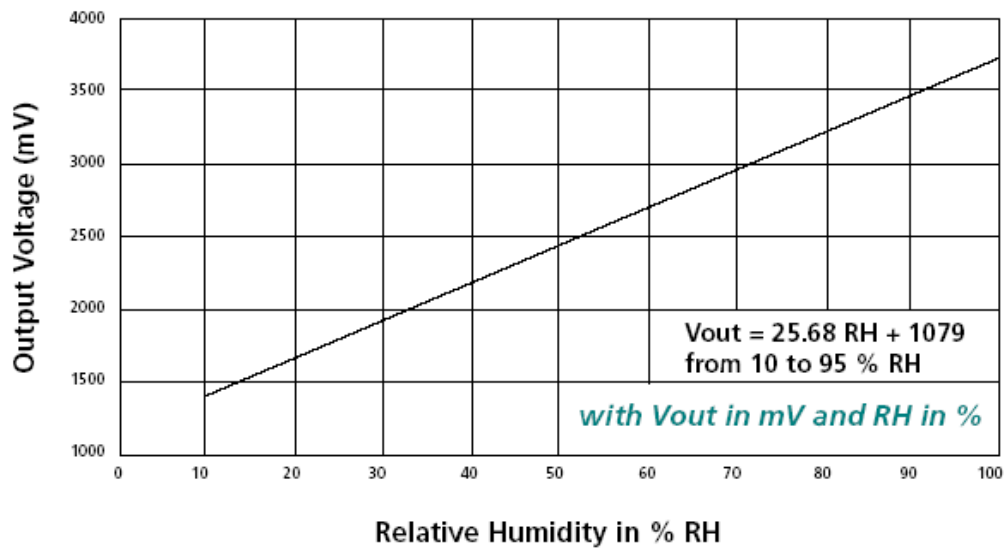


Fig.6.19 Relación entre la tensión de salida y la humedad relativa del sensor

La conversión analógico-digital la realiza directamente el controlador ALTEC mediante su microprocesador

## 6.4 La fuente de alimentación conmutada

En este proyecto se utiliza una fuente de alimentación, una de 24 V para alimentar los sistemas de temperatura y humedad. La fuente de alimentación escogida es de técnica conmutada. Seguidamente se da una idea de la diferencia entre fuente lineal y conmutada.

Una fuente de alimentación es un dispositivo que nos convierte corriente alterna a corriente continua. La mayoría de dispositivos necesitan una fuente de energía estable, consistente y pura para funcionar correctamente. Existen muchas formas de llamarlas y depende del ámbito o sector se denominan de una forma o de otra. También llamadas rectificadores, transformadores, convertidores, alimentadores... No siempre correctamente pero igualmente utilizadas. El creciente aumento de productos electrónicos ha impulsado el auge y el desarrollo en las fuentes de alimentación. Existen dos tipos de fuentes de alimentación: fuentes lineales y fuentes conmutadas.

### Fuentes lineales

Las primeras fuentes de alimentación eran lineales. Un transformador que reducía la tensión de entrada de 220 V AC a otra tensión seguida de un puente de dos diodos y un filtro para estabilizar la salida.

El inconveniente de las fuentes es su gran tamaño y que disipan gran parte de la energía en calor. Consecuentemente la vida de los componentes electrónicos que puedan incorporar o estar cercanos se ve cortada por este incremento de calor. A más, la tensión de salida varía en función de la carga. Hoy en día se sigue utilizando ya que generan un ruido y rizado menor. También hay que mencionar que al tener poca electrónica son inmunes a las radiaciones electromagnéticas.

Hemos dicho que todas las fuentes de alimentación lineales suelen ser pesadas y tienen poca eficiencia. Las necesidades en la carrera aeroespacial de reducir peso y consumo de toda la electrónica llevó al primer desarrollo de las fuentes de alimentación conmutadas. El sistema básicamente consiste en transferir energía de manera controlada entre el primario y el secundario. Así en los años cuarenta se hicieron las primeras pruebas en sistemas conmutados por parte de la NASA. En principio era una tecnología muy cara y desconocida. Paulatinamente, el abaratamiento de la electrónica y la miniaturización, ha conseguido que las fuentes de alimentación conmutadas se abaraten considerablemente, ofreciendo mayor estabilidad, seguridad, eficiencia, y a un precio similar a las fuentes lineales.

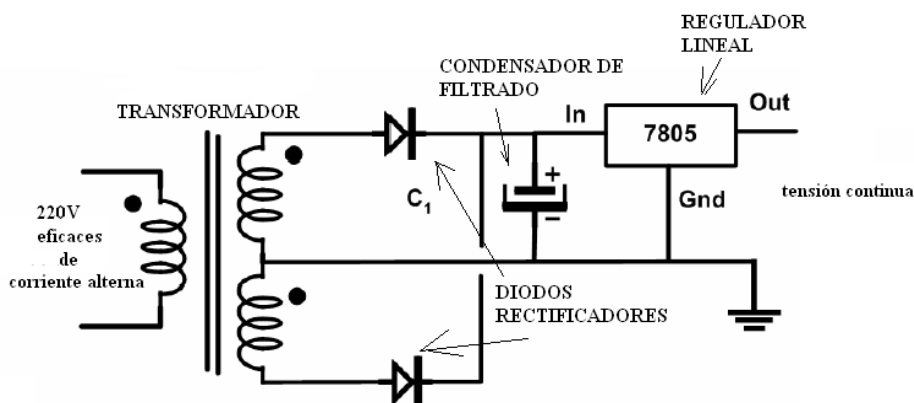


Fig. 6.20 Fuente de alimentación lineal.

### Fuentes conmutadas

Las fuentes conmutadas funcionan de manera muy diferente a las fuentes lineales. Se tratan de convertidores de continua-continua donde la señal continua de entrada se hace conmutar (chopper) para obtener una onda cuadrada. Como se sabe una onda cuadrada tiene armónicos de frecuencia de todo tipo. Para obtener la señal continua de salida se utiliza un filtro del tipo paso-bajo que únicamente deja pasar la componente continua y elimina el resto del espectro de frecuencias. El valor de la tensión continua obtenida depende de la frecuencia y de lo que se dice la relación de ciclo que no es más que la relación que hay entre el semicírculo cuando la señal está en ON (o estado alto) y cuando está en OFF (o estado bajo).

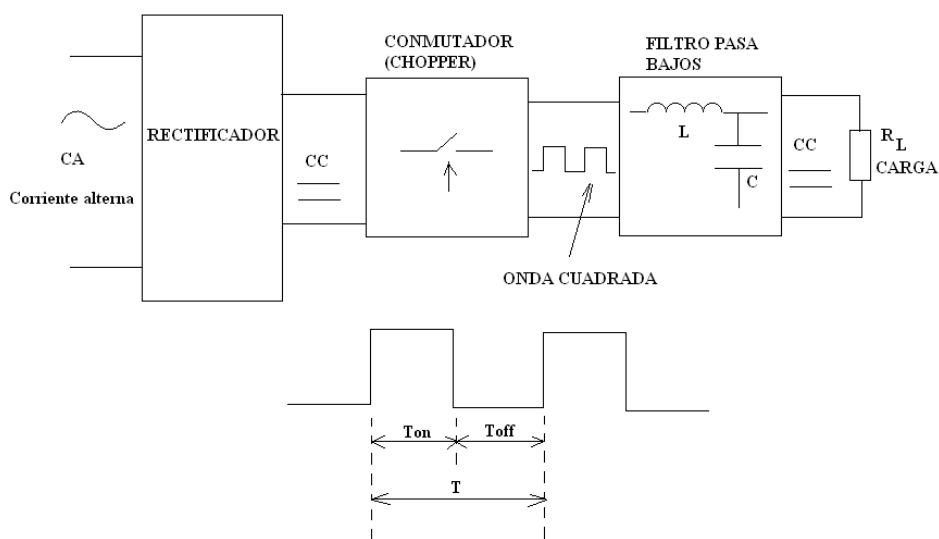


Fig. 6.21 Funcionamiento de una fuente conmutada

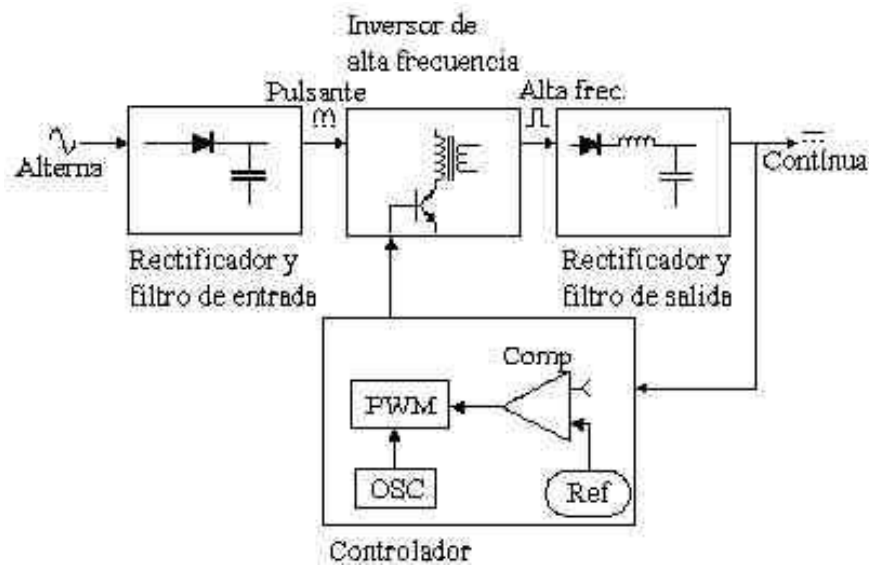


Fig.6.22. Implementación electrónica

La mayoría funcionan bajo la técnica de PWM (Modulación por Ancho de Pulso) y en estas se mantiene la frecuencia de conmutación y se varía la relación de ciclo entre  $T_{ON}$  y  $T_{OFF}$ . Existen varios tipos de fuentes conmutadas según su configuración y su utilización. Hay de las que obtienen una tensión continua menor que la tensión continua de entrada (se denominan step up o convertidores Boost). Otras configuraciones son la de Flyback y la de Forward que se caracterizan principalmente porque tienen aislamiento galvánico entre la entrada y la salida (contienen un transformador intermedio).

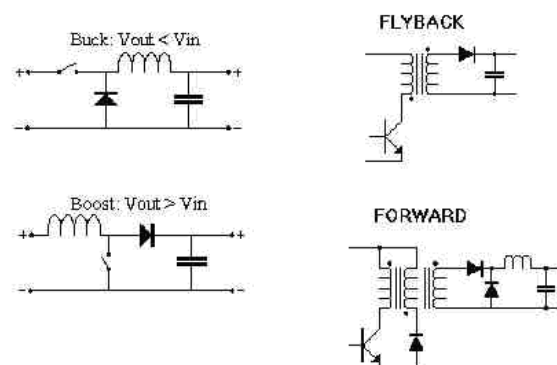


Fig.6.23 Diferentes configuraciones





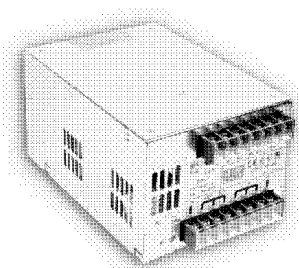
Fig.6.24. Fuente de alimentación conmutada de 24 V y 20 A utilizada en el sistema

## Data sheet fuente de alimentación:



500W Single Output with PFC Function

**SP-500 series**



### ■ Features :

- Universal AC input / Full range
- Built-in active PFC function, PF>0.95
- Protections: Short circuit / Overload / Over voltage / Over temperature
- Forced air cooling by built-in DC fan
- Built-in cooling Fan ON-OFF control
- Built-in remote ON-OFF control
- Built-in remote sense function
- 3 years warranty



### SPECIFICATION

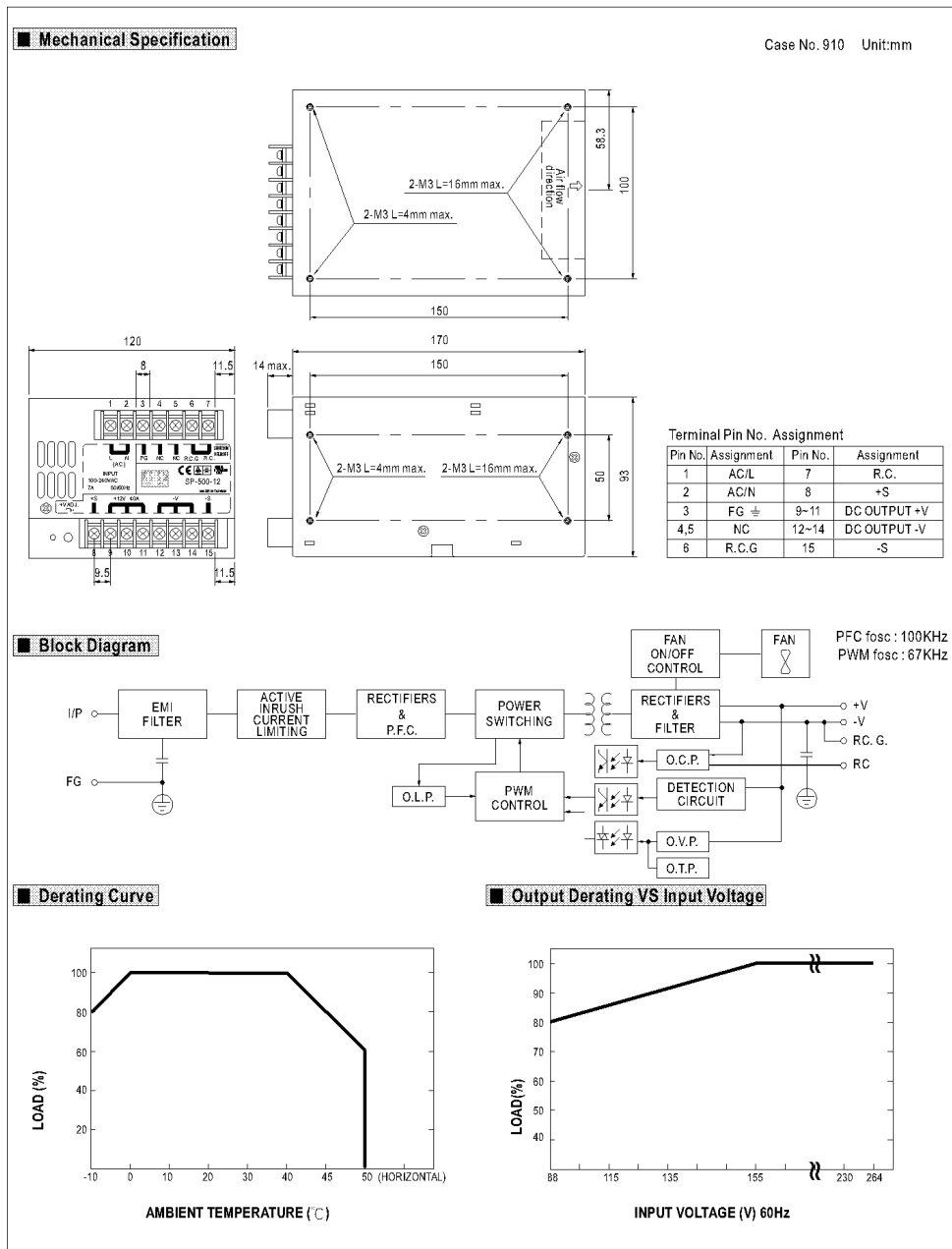
MODEL		SP-500-12	SP-500-13.5	SP-500-15	SP-500-24	SP-500-27	SP-500-48
OUTPUT	DC VOLTAGE	12V	13.5V	15V	24V	27V	48V
	RATED CURRENT	40A	36A	32A	20A	18A	10A
	CURRENT RANGE	0 ~ 40A	0 ~ 36A	0 ~ 32A	0 ~ 20A	0 ~ 18A	0 ~ 10A
	RATED POWER	480W	486W	480W	480W	486W	480W
	RIPPLE & NOISE (max.) <small>Note 2</small>	240mVp-p	240mVp-p	240mVp-p	240mVp-p	200mVp-p	300mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	10 ~ 13.2V	12 ~ 15V	13.5 ~ 18V	20 ~ 28.4V	24 ~ 30V	41 ~ 56V
	VOLTAGE TOLERANCE <small>Note 3</small>	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
SETUP, RISE TIME	1500ms, 50ms at full load						
HOLD UP TIME (Typ.)	24ms at full load						
INPUT	VOLTAGE RANGE <small>Note 5</small>	88 ~ 264VAC	124 ~ 370VDC				
	FREQUENCY RANGE	47 ~ 63Hz					
	POWER FACTOR (Typ.)	PF>0.95/230VAC PF>0.95/115VAC at full load					
	EFFICIENCY(Typ.)	84%	84%	83%	85.5%	86.5%	87%
	AC CURRENT (Typ.)	7A/115VAC	3.5A/230VAC				
	INRUSH CURRENT (Typ.)	18A/115VAC	36A/230VAC				
PROTECTION	OVERLOAD	105 ~ 135% rated output power Protection type: Constant current limiting, recovers automatically after fault condition is removed					
	OVER VOLTAGE	13.8 ~ 18.2V	15.5 ~ 18.2V	18 ~ 21V	27.6 ~ 32.4V	31 ~ 36.5V	57.6 ~ 87.2V
	FAN CONTROL, O.T.P.	RTH1 or RTH2 > 50℃ FAN ON, <45℃ FAN OFF, >70℃ output shutdown Protection type: Hiccup mode, recovers automatically after fault condition is removed					
	REMOTE CONTROL	RC+/RC-: Short = power on, Open = power off					
	WORKING TEMP.	-10 ~ +50℃ (Refer to "Derating Curve")					
ENVIRONMENT	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing					
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 ~ +85℃, 10 ~ 95% RH					
	TEMP. COEFFICIENT	±0.03%/℃ (0 ~ 50℃)					
	VIBRATION	10 ~ 500Hz, 2G 10min./1cycle, period for 60min, each along X, Y, Z axes					
SAFETY & EMC (Note 4)	SAFETY STANDARDS	UL60950-1, TUV EN60950-1, CCC GB4943 (for 24V only) approved					
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P: 3KVAC I/P-FG: 1.5KVAC O/P-FG: 0.5KVAC					
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG, O/P-FG: 100M Ohms / 500VDC / 25℃ / 70% RH					
	EMC EMISSION	Compliance to EN55022 (CISPR22) Class B, EN61000-3-2, -3					
OTHERS	EMC IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2, 3, 4, 5, 6, 8, 11, light industry level, criteria A					
	MTBF	133.4K hrs min. MIL-HDBK-217F (25℃)					
	DIMENSION	170*120*93mm (L*W*H)					
NOTE	PACKING	1.9Kg; 8pcs/15.5Kg/1.06CUFT					
		1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25℃ of ambient temperature. 2. Ripple & noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair wire terminated with a 0.1uF & 47uF parallel capacitor. 3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation. 4. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives. For guidance on how to perform these EMC tests, please refer to "EMI testing of component power supplies," (as available on <a href="http://www.meanwell.com">http://www.meanwell.com</a> ) 5. Derating may be needed under low input voltages. Please check the derating curve for more details.					

File Name: SP-500-SPEC 2011-11-15



500W Single Output with PFC Function

**SP-500 series**



File Name: SP-500-SPEC 2011-11-18

Fig. 6.25 Data Sheet Fuente alimentación utilizada

### 6.5 Inversor de tensión

Para el sistema de refrigeración de la cámara se supone que el habitáculo siempre estará en el interior de casa, tienda, piso o taller. Como la consigna de temperatura es de 16 – 17° C si la temperatura ambiente es inferior se necesitara calentar. Esto se conseguirá conmutando la polaridad de las células Peltier. Por ello se ha diseñado un sistema de conmutación de polaridad asociado a la fuente de alimentación utilizada.

Quizás no sea lo más deseado el cambiar de polaridad de la Peltier, debido a su vida útil: cuanto más cambio de polaridad más forzaremos la Peltier. No obstante es un sistema barato y justificado en este caso porque los cambios no serán muy frecuentes.

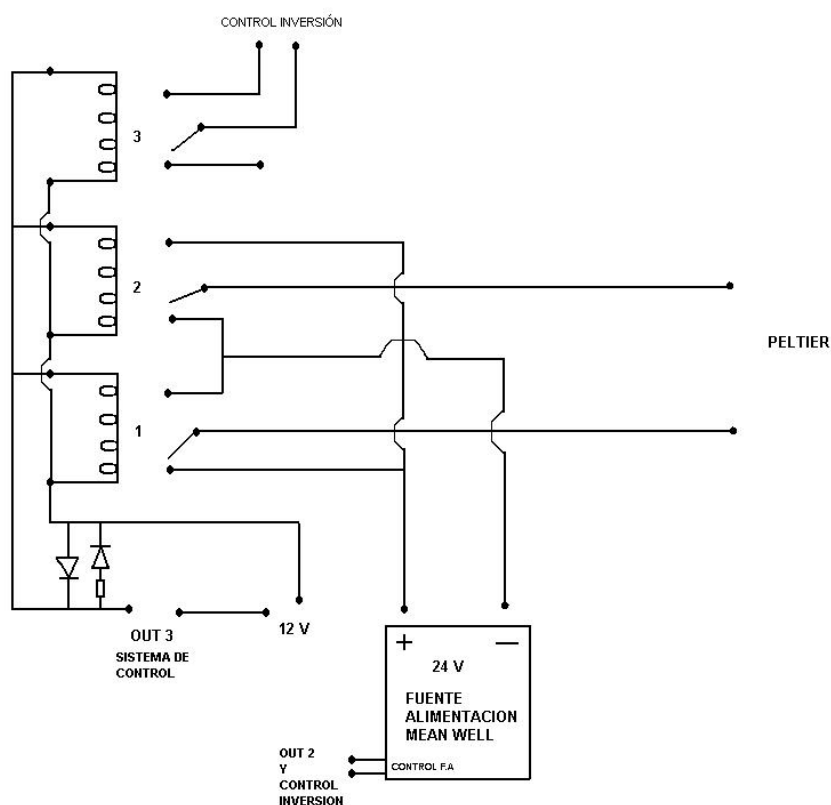


Fig.6.26 Esquema eléctrico inversor de tensión.

Este circuito, realiza dos acciones, la primera cuando queremos que a la Peltier le lleguen +24 V, este caso hará que el sistema enfríe lo que hay en la cámara, puesto que cuando el control nos envíe la señal de enfriar lo hará mediante Out 2 del sistema de control, con lo cual nuestra fuente funcionará ya que la salida Out 2 la conectamos al control de la fuente y como los relés no están activos pues tendremos +24V.

Cuando queramos invertir la polaridad de la Peltier, nos será marcada por la salida Out3 del sistema del control. Esta nos cerrará el circuito inversor, con lo cual nos alimentará los relés con 12 V y nos producirá 2 cosas: que la Fuente de alimentación funcione y que los relés estén activos con lo cual tendremos a la salida -24V. La siguiente figura nos enseña la placa de circuito impreso del inversor de polaridad.

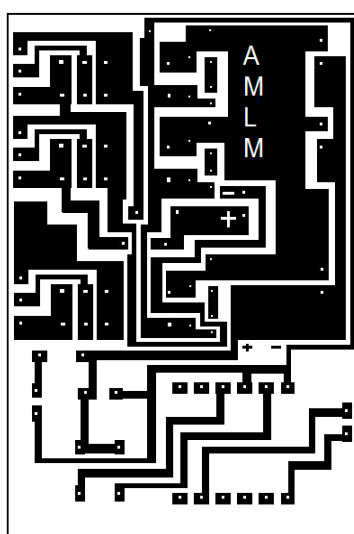


Fig.6.27 Layout Inversor de tensión.



Fig.6.28 Foto inversor de tensión

## 6.6 Circuito Ajuste de humedad

Para obtener una medida fiable y conjunta del sistema en los dos controladores se realiza un circuito seguidor de tensión con potenciómetro para poder ajustar la humedad. La medición de humedad varía dentro del habitáculo y se obtiene grandes diferencias. Por este motivo se realiza el siguiente circuito:

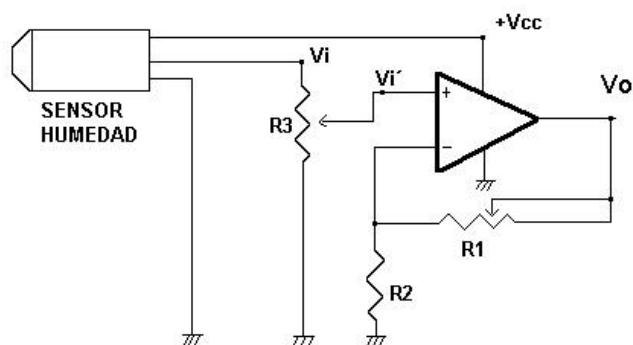


Fig.6.29. Seguidor de tensión.

Se obtiene una expresión:

$$V_o = (1 + R_1/R_2) \times V_i'$$

ecuación 6.2

Con R1 se ajusta la humedad a la media que se encuentra en el habitáculo y así obtener una medida fiable.

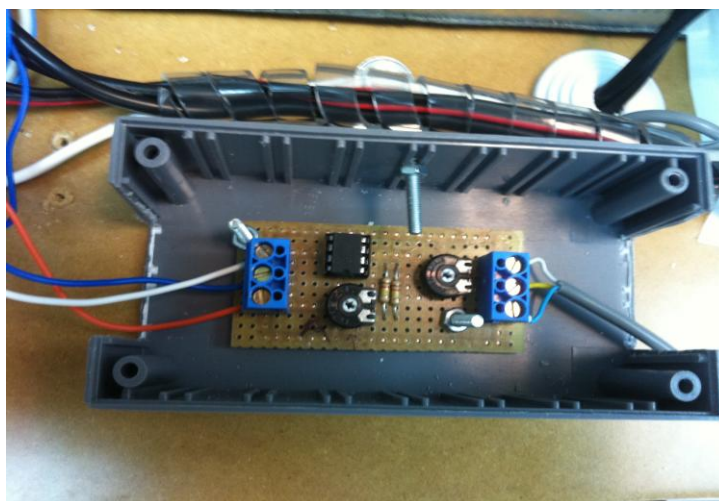


Fig.6.30.Foto seguidor de tensión.



## Capítulo 7: Cálculo del sistema propuesto



## 7 Cálculo del sistema propuesto

Este capítulo tiene como objetivo elegir de forma razonada la célula termoeléctrica que debe incorporar la estructura que absorberá el flujo de calor de pérdidas debido a que la cámara no tiene un aislamiento perfecto. En primer lugar se calcula el flujo de calor de pérdidas de la cámara de frío que será precisamente la que debe aportar como mínimo la célula termoeléctrica que se elija. A partir de las dimensiones de la cámara y el flujo de calor de pérdidas ya obtenido, se elige la célula con la ayuda de un programa de ayuda de AZTEC.

### 7.1 Cálculo de flujo de calor de la cámara

Para realizar el cálculo del flujo de calor en la cámara de frío se seguirán los pasos descritos en el apartado 5.3.

#### 1. Entrada de información.

##### 1.1 Dimensiones de la cámara de frío.

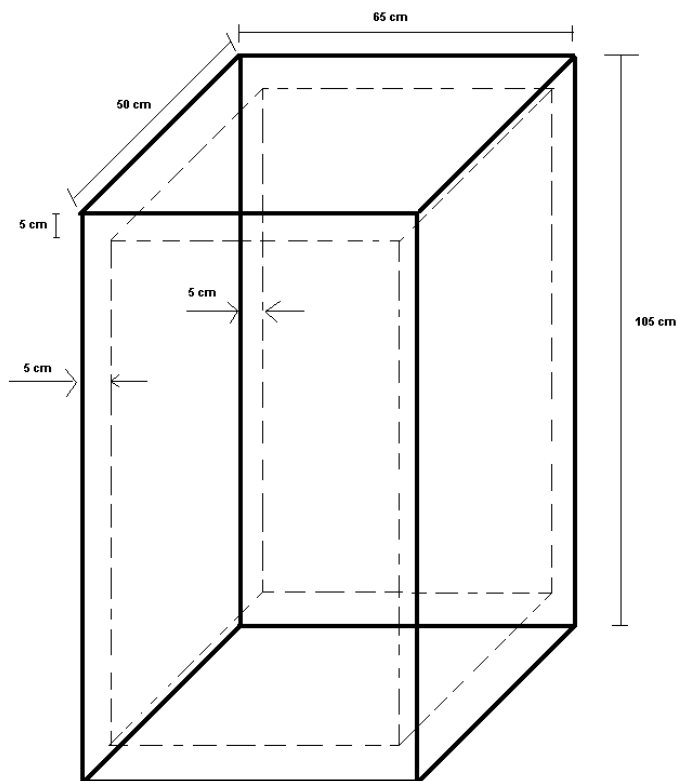


Fig.7.1 Dimensiones de la cámara de frío



ALTO: 105 cm.  
ANCHO: 65 cm.  
LARGO: 50 cm.  
GROSOR: 5 cm.  
GOSOR PUERTA VIDRIO: 3 cm.

## 1.2 Tipo de material de aislamiento

Hemos de tener en cuenta una puerta de vidrio doble con cámara para el cálculo.

Material: Cedro.

Conductividad térmica: 0,13 W/m °K

Material: Vidrio climalit con cámara.

Conductividad térmica: 0,45 W/m °K

## 1.3 Temperatura.

$T_{\text{ambiente}} = 27^{\circ} \text{C}$ .

$T_{\text{cámara}} = 15^{\circ} \text{C}$ .

## 2 Área externa.

Si no tuviéramos una puerta de vidrio aplicaríamos esta ecuación para hallar el área total:

$$A = 2 \cdot [H \cdot W + H \cdot D + W \cdot D]$$

Pero hemos de hallar el área de vidrio y el área de cedro para ser más exactos con el cálculo.

Cedro:

$$A = 2 \cdot (1,05 \cdot 0,5 + 0,65 \cdot 0,5) + 1,05 \cdot 0,65 = 2,382 m^2 \quad \text{ecuación 7.1}$$

Vidrio:

$$A = 1,05 \cdot 0,65 = 0,6825m^2 \quad \text{ecuación 7.2}$$

### 3 Variación de temperatura

$$\Delta T = T_{amb} - T_{cam} = 27^\circ C - 15^\circ C = 12^\circ C \quad \text{ecuación 7.3}$$

### 4 Resistencia térmica (R).

4.1 Conductividad Térmica del cedro:  $K = 0,13 \text{ W/m } ^\circ K$ .

El coeficiente medio de transmisión de calor por convección (este coeficiente (h) tiene un valor de unos  $10 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ K$ , pero en ventilación forzada, esta se eleva a unos  $100 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ K$  como es en nuestro caso.

4.2 Grosor Cedro=  $\Delta x = 0,05 \text{ m}$

Grosor Vidrio=  $\Delta x = 0,03 \text{ m}$

4.3 La resistencia térmica total ( $R_t$ ) es la suma de la resistencia térmica por conducción ( $R_c$ ) más la resistencia térmica por convección ( $R_n$ ).

$$R_T = R_C + R_h \quad \text{ecuación 7.4}$$

$$R_c = \frac{\Delta x}{\kappa} \quad \text{ecuación 7.5}$$

$$R_h = \frac{1}{h} \quad \text{ecuación 7.6}$$

Pero en este caso de ventilación forzada:

$$\frac{\Delta x}{\kappa} \gg \frac{1}{h} \quad \text{ecuación 7.7}$$

Lo que implica que  $R_T \approx R_C \approx R$

Numéricamente:

$$R_{cedro} = \frac{\Delta x}{\kappa} + 0,01 = \frac{0,05m}{0,13 \frac{W}{m^{\circ}k}} + 0,01 = 0,394 \frac{m^2 \cdot^{\circ}k}{W} \quad \text{ecuación 7.8}$$

$$R_{vidrio} = \frac{\Delta x}{\kappa} + 0,01 = \frac{0,03m}{0,45 \frac{W}{m^{\circ}k}} + 0,01 = 0,0266 \frac{m^2 \cdot^{\circ}k}{W} \quad \text{ecuación 7.9}$$

Como la gráfica que utilizamos también está en las unidades  $h \text{ ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}/\text{BTU}$  parece adecuado transformar las unidades.

$$1 \text{ m}^2 \cdot^{\circ}k / W \quad \text{-----} \quad 5,68 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}/\text{BTU}$$

Cedro:

$$0,394 \text{ m}^2 \cdot^{\circ}k / W \quad \text{-----} \quad 2,241 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}/\text{BTU}$$

$$R = 0,394 \frac{m^2 \cdot^{\circ}k}{W} = 2,241 \frac{h \cdot \text{ft}^2 \cdot^{\circ}F}{\text{BTU}}$$

Vidrio:

$$0,193 \text{ m}^2 \cdot^{\circ}k / W \quad \text{-----} \quad 1,099 \text{ h ft}^2 \text{ }^{\circ}\text{F}/\text{BTU}$$

$$R = 0,193 \frac{m^2 \cdot^{\circ}k}{W} = 1,099 \frac{h \cdot \text{ft}^2 \cdot^{\circ}F}{\text{BTU}}$$

Analíticamente para conocer el flujo de calor de pérdidas por área se ha de aplicar la relación:

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{R} \cdot \Delta T \quad \text{ecuación 7.10}$$

Cedro:

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{0,398} \cdot 12 = 30,15 \text{ W/m}^2 \quad \text{ecuación 7.11}$$

Vidrio:

$$\frac{Q}{A} = \frac{1}{0,193} \cdot 12 = 62 \text{ W/m}^2 \quad \text{ecuación 7.12}$$

## 6 Utilización gráfica

Es más práctico utilizar las gráficas directamente.

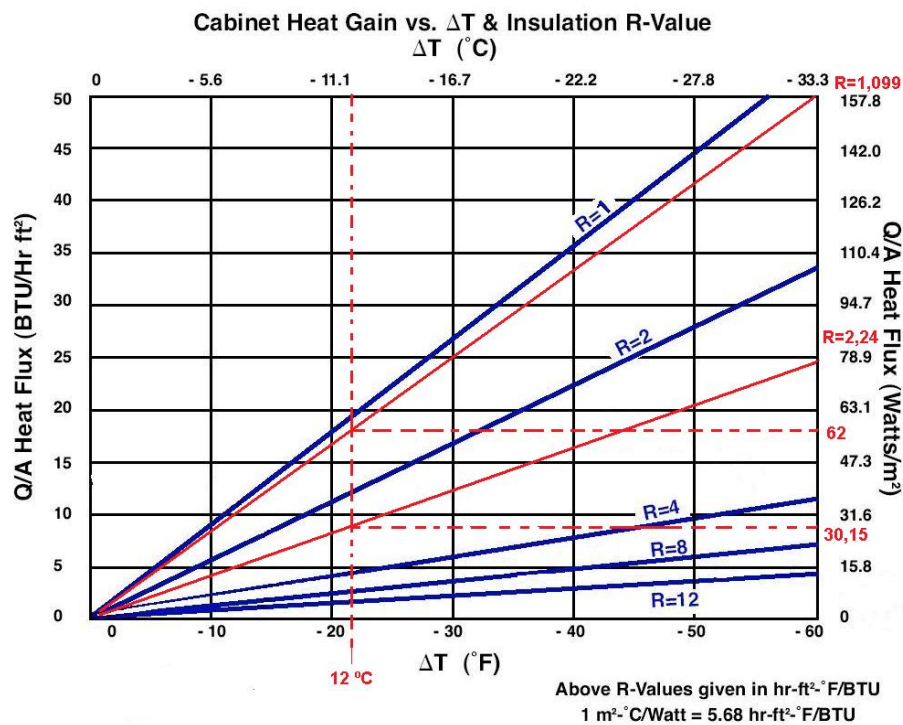


Fig.7.2 Gráfica relación R/BTU

## 7 Flujo total utilizado

$$Q_{CEDRO} = 30,15 \times 2,382 = 71,81 \text{ W}$$

$$Q_{VIDRIO} = 62 \times 0,6825 = 42,28 \text{ W}$$

$$Q_{TOTAL} = Q_{CEDRO} + Q_{VIDRIO} = 114,1 \text{ W}$$

Hemos de considerar las pérdidas que tenemos en la cámara y el tiempo que queramos que la Peltier enfríe la cámara ya que tenemos que movernos en un rango de temperatura que ha de ser relativamente rápido para conservar los puros.

Para hallar la Potencia necesaria ( $Q_{in}$ ) se ha de prever el factor de la transferencia de calor.

### Transferencia de Calor

Se ha descrito la transferencia de calor como el estudio de las velocidades a las cuales el calor se intercambia entre fuente de calor y recibidores, tratados usualmente de manera independiente. Los procesos de transferencia de calor se relacionan con las razones de intercambio térmico, tales como las que ocurren en los equipos de transferencia de calor, tanto en ingeniería mecánica como en los procesos químicos.

Un problema típico de procesos de transferencia de calor involucra las cantidades de calor que deben transferirse, las razones a las cuales pueden transferirse debido a la naturaleza de los cuerpos, la diferencia de potencial, la extensión y arreglo de las superficies que separan la fuente y el receptor, y la cantidad de energía mecánica (física) que debe disiparse para facilitar la transferencia de calor. Puesto que la transferencia de calor considera un intercambio en un sistema, la pérdida de calor por un cuerpo deberá ser igual al calor absorbido por otro dentro de los confines del mismo sistema.

Cuando dos objetos que están a temperaturas diferentes se ponen en contacto térmico, el calor fluye desde el objeto de temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja. El flujo neto se produce siempre en el sentido de la temperatura decreciente. Los mecanismos por los que fluye calor son tres: conducción, convección y radiación.

En la teoría de la transferencia de calor encontramos la ecuación de Fourier, donde el primer principio de la termodinámica aplicado al volumen de control como sistema cerrado que intercambia solamente calor queda como en el esquema gráfico:

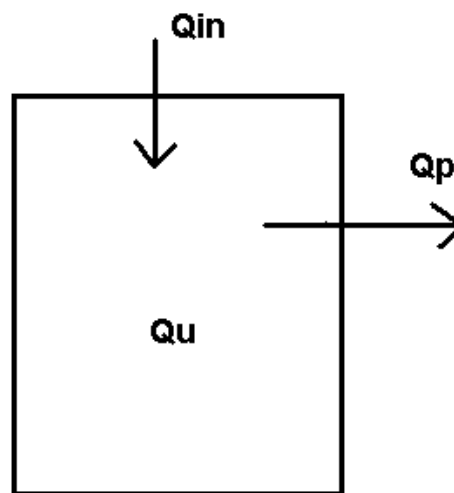


Fig.7.3 Esquema de transferencia de potencia

$$Q_{in} = Q_u + Q_p$$

ecuación 7.13

Donde:  $Q_{in}$ : Es la potencia de entrada.  
 $Q_u$ : Es la potencia útil.  
 $Q_p$ : Es la potencia perdida

Si en el elemento de volumen no se producen cambios de fase, la variación de la energía interna producirá un aumento de temperatura o una bajada de temperatura según estemos calentando o enfriando. Podemos escribir y realizar entonces las siguientes ecuaciones:

Tenemos la potencia perdida:

$$Q_p = 114 \text{ W} = 114 \text{ J/s}$$

Por probar aplicamos una  $Q_{in}$  de 200 W para ver el rango de tiempo que tendremos:

$$Q_u = Q_{in} - Q_p = 86 \text{ W} = 86 \text{ J/s}$$

Aplicamos la fórmula de Fourier de transferencia de calor y que anteriormente la hemos explicado en el punto 5.4, modelo eléctrico equivalente, para el flujo de calor:

$$Q_u = M_{aire} \times C_{específico} \times \Delta T / t \quad \text{ecuación 7.14}$$

Donde:  $Q_u$ : Es la potencia útil.

$M_{aire}$ : Es la masa del aire ( $1,18 \text{ Kg/m}^3$ )

$C_{específico}$ : Es el calor específico del aire en volumen constante ( $717,63 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ )

$\Delta T$ : Diferencia de temperatura  $12^\circ \text{ C} = 285^\circ \text{ K}$

El volumen de la cámara es:  $0,341 \text{ m}^3$

La  $M_{aire}$  que tenemos en ese volumen es:  $V_{cámara} \times 1,18 = 0,402 \text{ Kg}$

Así encontramos un tiempo  $t$ :

$$t = 0,402 \times 717,63 \times 285 / 86 = 956 \text{ s} = 16 \text{ minutos}$$

Viendo el resultado que se ha obtenido, se observa que con una Peltier de 200 W de potencia de flujo de frío, restando las pérdidas, nos da aproximadamente una potencia útil de 86 W. Con lo cual permitirá que el sistema en las peores condiciones tarde unos 16 minutos en llegar al punto deseado. Una vez estabilizado el sistema regulado se mantiene alrededor de más-menos  $2^\circ \text{ C}$  sobre la consigna.



## Capítulo 8: Resultados prácticos



## 8 RESULTADOS PRÁCTICOS

En este capítulo se da a conocer las diferentes medidas experimentales realizadas en el sistema real. Inicialmente se muestra los diferentes instrumentos utilizados. Seguidamente se describe las diferentes gráficas de temperatura y humedad para después realizar una estimación del rendimiento dado en función del COP.

### 8.1 Descripción de la instrumentación realizada

Los instrumentos utilizados para realizar las medidas son:

Convertidor analógico digital de 8 canales PICO-LOG TC 08.

El registrador TC-08 se puede utilizar con termopares tipos B, E, J, K, N, R, S y T y las salidas se pueden ver en grados Celsius o en milivoltios (mV). La unidad tiene una precisión del 0,2 por ciento  $\pm 0,5$  grados Celsius y una resolución mayor de 0,1 grado Celsius para la mayoría de los termopares. Toma muestras a una velocidad de hasta 10 lecturas por segundo e incorpora compensación de soldadura fría y cubre un rango de temperaturas que va desde los -270 hasta los 1820 grados Celsius. La conectividad USB del TC-08 permite que funcionen varias unidades en un solo ordenador, facilitando la creación de sistemas con 80 termopares. Con Picolog Recorder (software), los datos del registrador TC-08 se pueden visualizar en una hoja de cálculo o en una gráfica a medida que se va registrando.



Fig.8.1. Convertidor analógico digital de 8 canales PICO-LOG TC 08.

### Registrador de temperatura y humedad PCE-H11

El registrador detecta la humedad del aire y la memoriza internamente. Este registrador climatológico en forma reducida y una amplia memoria (hasta max. 32000 valores/ valores por parámetro) sirve sobre todo para el registro prolongado de datos. El aparato trabaja como un logger autónomo que registra los valores climatológicos en los espacios de tiempo deseados. Puede transmitir todos los valores a un ordenador o portátil. El registro se puede activar de forma manual o programar el registrador climatológico previamente (tiempo de inicio y final, fecha y cuota de medida) y dejarlo que vaya registrando in situ. Una vez transmitido los valores, los valores, se pueden analizarlos en el ordenador. A más, el software que se adjunta calcula el punto de rocío.



Fig.8.2. Registrador de temperatura y humedad PCE-H11

Multímetros digitales.

## 8.2 Evolución gráfica de la temperatura y la humedad

Para observar la evolución gráfica de la humedad se utiliza las gráficas psicométricas; que permite apreciar el paso de los diferentes valores de humedad ante diferentes temperaturas.

Gráfica de humidificación:

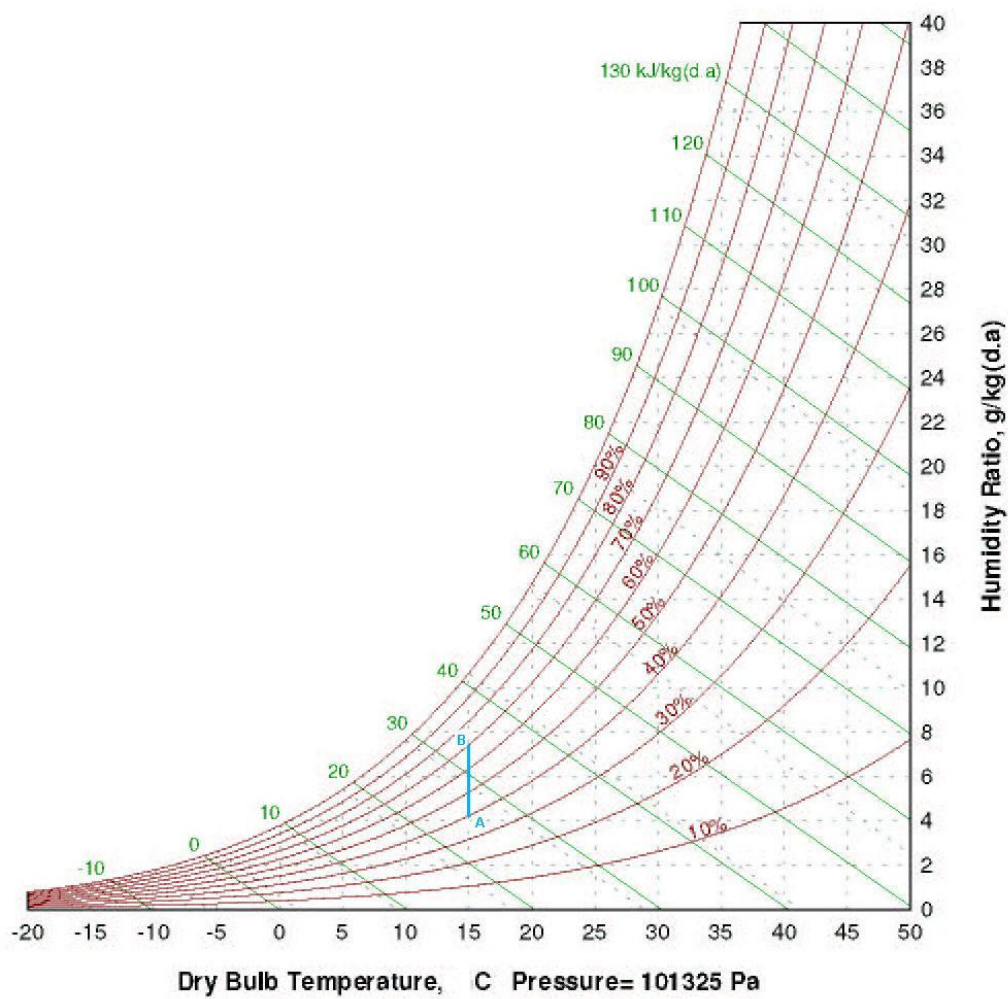


Fig.8.3 Gráfica Psicométrica de Humedad.

En la gráfica se observa un estado inicial A, con 40 % de humedad relativa y 15° C, y un estado B, con 70 % de humedad relativa con misma temperatura 15 ° C.

Esta situación se asemeja bastante a los objetivos marcados en la humidificación, únicamente varía la temperatura que oscila alrededor de los 15 ° C.

Para el sistema de deshumidificación se utiliza la misma gráfica pero con diferentes condiciones. El punto A tiene unas condiciones de 75 % de humedad relativa y 15 ° C y el punto B tiene unas condiciones de 40 % de humedad y 24 ° C.

Para llegar de un punto a otro se traza una recta que una los puntos y esta se divide en 10 segmentos, cada partición de estos indica el porcentaje de cada estado que se ha de mezclar para llegar a esa condición.

Se observa en esta tabla:

B						A					
A %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
B %	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0

Fig.8.4 Cuadro de porcentaje para mezcla de humedades.

Si se desea llegar a un estado medio de la recta, se ha de mezclar el 50 % de las condiciones de los dos puntos y así con todos los casos.

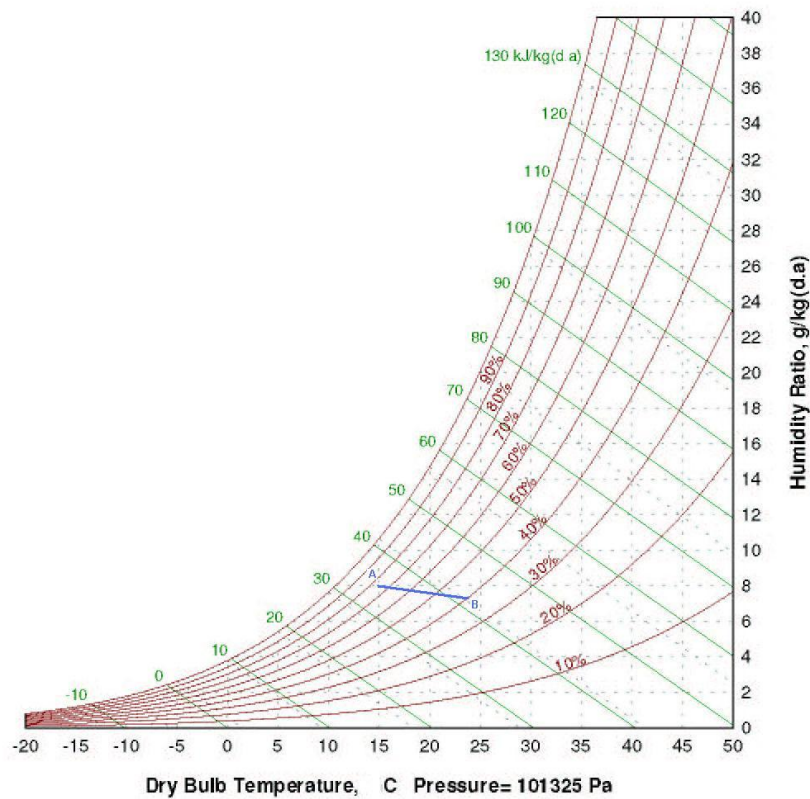


Fig.8.5 Gráfica Psicométrica para quitar humedad.

Después de observar teóricamente el funcionamiento del sistema de humedad con las gráficas psicométricas, se realizan grabaciones del sistema con software Pico-Log y con sensor PCE-H11 y se obtienen los resultados:

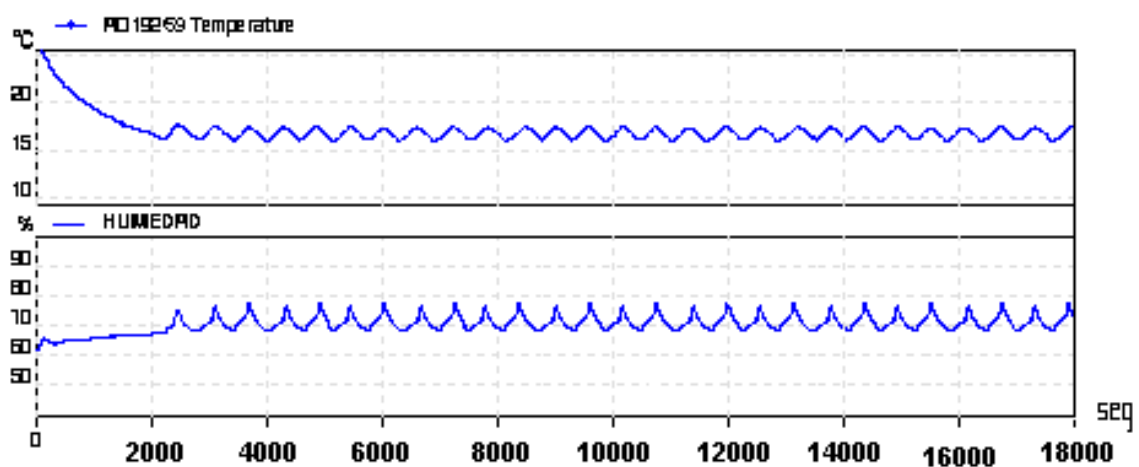


Fig.8.6 Graficas con PICI-LOG de temperatura y humedad de nuestro sistema.

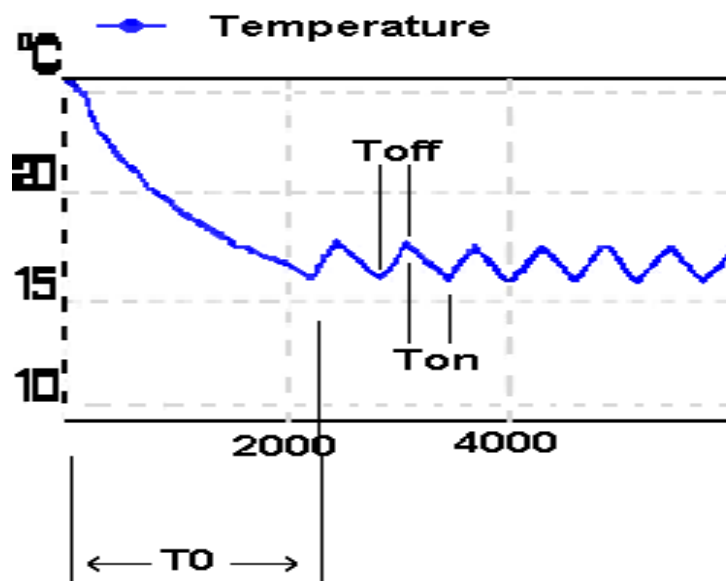


Fig.8.7 Gráfica Temperatura PICO-LOG.

En la gráfica temperatura se aprecia un  $T_0$ ; el tiempo transitorio de primera puesta en marcha del sistema hasta que llega al punto de consigna, durante este  $T_0$  la Peltier funciona para llegar a temperatura que indique para entrar en un régimen estacionario.

Se observa un  $T_{on}$  dentro del régimen estacionario que muestra el periodo de funcionamiento de la Peltier.

Por otra parte hay un  $T_{off}$  que muestra cuando la Peltier está apagada.

Se aprecia en la gráfica general del sistema que los resultados son periódicos y estables.

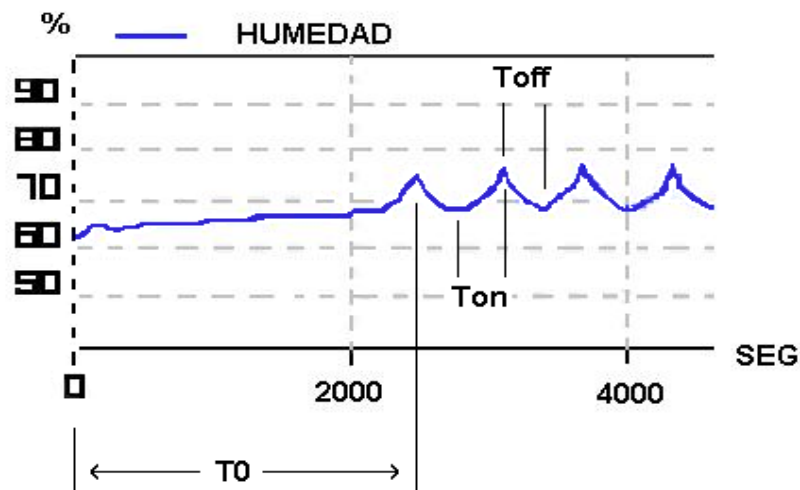


Fig.8.8 Gráfica Humedad PICO-LOG.

En la gráfica de humedad se obtiene un T0 (transitorio) que es semejante al que se obtuvo en la gráfica de temperatura.

En la gráfica hay un Ton que indica que el dispositivo de humidificación está activo e introduce en el sistema la humedad necesaria para llegar al punto de consigna.

Se observa un Toff que muestra cuando no está activo el sistema de deshumidificación. Dentro de Toff hay un tiempo en el que el sistema está en reposo, (ningún sistema está activo, salvo el de control), dado que disminuye la humedad y el sistema se sitúa en condiciones de consigna.



### 8.3 Medida de la potencia eléctrica consumida

Se mide la corriente y la tensión que se suministra a la célula termoeléctrica cuando el sistema es estable.

$$I = 11 \text{ A}$$

$$V = 24 \text{ V}$$

$$P = V \cdot I = 24 \cdot 11 = 264 \text{ W}$$

### 8.4 Estimación del rendimiento

Para estimar el rendimiento es necesario conocer la energía de entrada del sistema y la de salida útil (el flujo de calor absorbido por la cara fría del sistema termoeléctrico).

Si se basa únicamente al sistema termoeléctrico, el balance de potencial es:

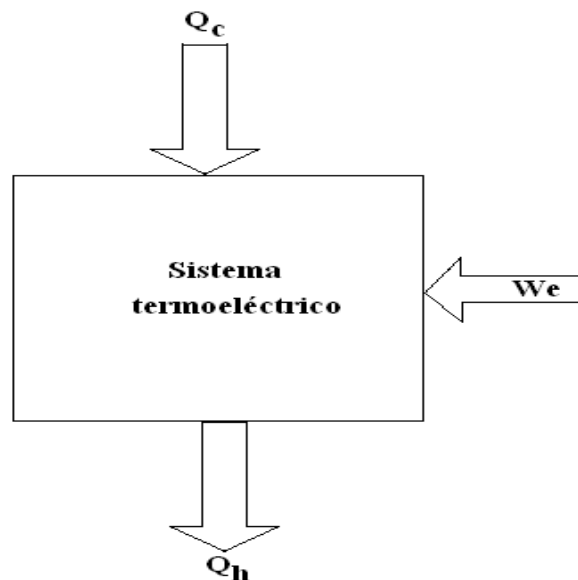


Fig. 8.9. Balance de potencias



El rendimiento del sistema térmico se define mediante el parámetro COP (coefficient of performance), que es una medida de mérito del sistema térmico.

$$\text{COP} = \frac{Q_c}{W_{em}} \quad \text{ecuación 8.1}$$

$W_{em}$  es la primera eléctrica media consumida. La gráfica 7.6 es una ampliación de la zona estable de la temperatura en el interior de la cámara de frío. La potencia media se encuentra multiplicando la corriente media por la tensión de alimentación que es constatable. La corriente media depende del tiempo en el que la célula está activa, es decir,  $T_{on}$  en relación con el periodo completo de  $T$ .

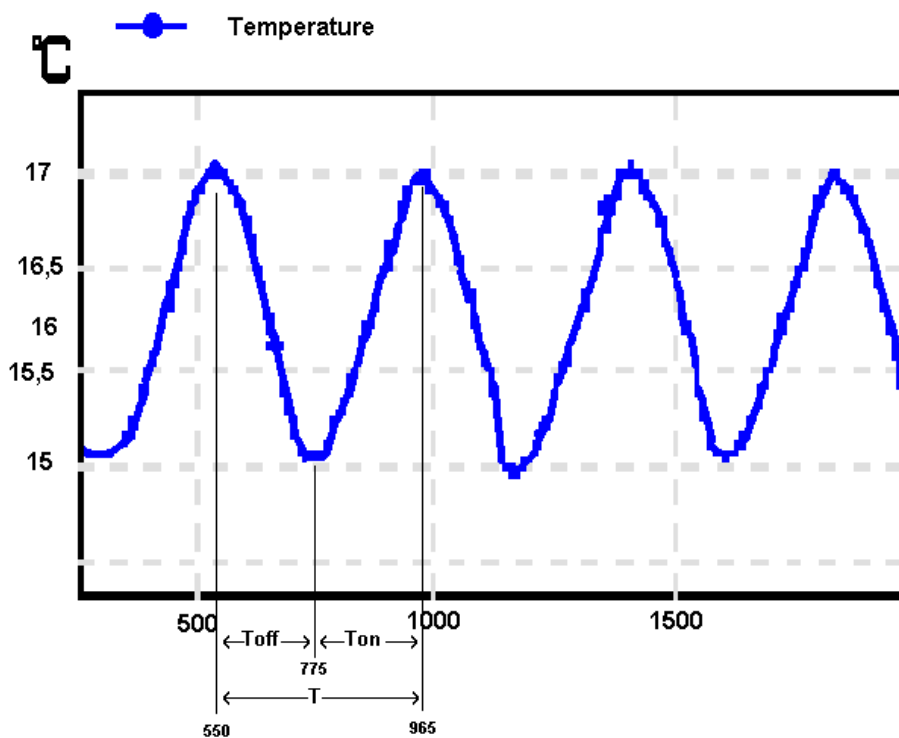


Fig.8.10 Periodo y tiempos del sistema

$$T_{on} = 965 - 775 = 190 \text{ seg}$$

$$T_{off} = 775 - 550 = 225 \text{ seg}$$

$$T = 965 - 550 = 415 \text{ seg}$$

Corriente media:

$$I_m = T_{on}/T \times I \quad \text{donde } I = 11 \text{ A}$$

$$I_m = 190/415 \cdot 11 = 5,03 \text{ A}$$

Potencia media:

$$W_{em} = I_m \cdot V = \frac{190}{415} \cdot 11 \cdot 24 = 120,86 \text{ W}$$

En el apartado 7.1 se estimó que el flujo de calor que se debe absorber es de 114,1 W en términos de valor medio. De esta manera, una estimación de COP es:

$$COP = \frac{Q_c}{W_{em}} = \frac{114,1}{120,86} = 0,94$$

El significado físico es que para cada 0,94 watt de flujo térmico entregado por el sistema necesita entregar 1 watts eléctrico.

### 8.5 Costes de Fabricación:

Se detalla los costes de mayor a menor de cada parte del sistema que se ha desarrollado:

Según ha ido evolucionando el sistema, se ha de mencionar la proporción, cuanto más sofisticado sea el sistema, mayor coste tiene el proyecto. Por este motivo se ha elegido un término medio entre la más eficiente y la más barata por temas de presupuesto.

El mayor coste del sistema es el habitáculo que ha de ser de madera de cedro fundamentalmente para tener las características que nos interesa, porque el cedro retiene muy bien la humedad y conserva la temperatura. El habitáculo se fabrica a medida y por eso el coste es de unos 1000 €.

Otro elemento que sub el presupuesto del sistema es la estructura de células termoeléctricas (Peltier) que se puede adquirir por unos 800 € dependiendo de fabricante y características técnicas.

La fuente de alimentación cuesta unos 160 € para las características requeridas.

En el siguiente puesto está el sistema de control que al utilizar dos unidades se pone el coste por 90 €.

La realización del inversor de tensión cuesta realizarlo 50 €.

Y por último está los sistemas de humidificación y deshumedecer que tiene un coste entre los 2 de 120 €.

En definitiva hacer este proyecto tiene un coste de unos 2220 € sólo materiales y habría que aumentar el coste en 400 € más por la mano de obra.

	COSTES
Habitáculo	1000
Peltier	800
Fuente de Alimentación	160
Sistema de Control	90
Inversor	50
Sistema de Humedad	120
Mano de Obra	400
<b>Total €</b>	<b>2620</b>



## Conclusiones

## **Conclusiones**

Es importante mencionar el hecho que la utilización de la termoelectricidad es totalmente respetuosa con el medio ambiente ya que no genera ningún tipo de gas contaminante y además, cuando se utiliza en modo Seebeck como generador eléctrico es factible de aprovechar la energía del sol que constituye una energía renovable. La energía fotovoltaica y la termoelectricidad pueden ser totalmente complementarias utilizando la irradiación y la diferencia de temperatura.

En este trabajo se ha utilizado la tecnología termoeléctrica para realizar una cámara de frío en forma de nevera. Una vez explicados los fenómenos físicos en el que se basa el funcionamiento de estructuras termoeléctricas se explica la célula termoeléctrica, que está basada en termopares constituidos con semiconductores dopados tipo N y tipo P. Se colocan eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. Aplicando energía eléctrica se obtiene energía térmica. En esta disposición funciona como una bomba de calor similar al funcionamiento de un sistema mecánico. Esta forma de trabajo se denomina modo Peltier.

Se ha presentado un sistema que sirve para generar y controlar la humedad relativa dentro de una cámara de frío. Se ha podido controlar la humedad relativa mínima, útil en una aplicación destinada a la conservación de puros habanos. Los requisitos de temperatura y humedad son estrictos en esta aplicación.

Se ha desarrollado un método de diseño gráfico utilizado por algunos fabricantes de sistemas termoeléctricos. A partir de los datos geométricos y de características de los materiales que constituyen la cámara de frío, se calcula el flujo de calor que se pierde mediante ayuda gráfica. El flujo de calor perdido es precisamente el que debe aportar como mínimo el sistema termoeléctrico para mantener lo más constante posible la temperatura de frío. El control de los parámetros mencionados se ha realizado mediante un hardware estándar adecuado y adaptado a las necesidades del sistema.

A más, se ha estudiado prácticamente mediante la generación de gráficas el comportamiento térmico y de humedad del sistema real fabricado para mostrar la validez de los cálculos teóricos realizados. Los resultados experimentales muestran que los resultados teóricos encajan adecuadamente con los experimentales.



## Bibliografía

## Bibliografía

### CONFERENCIAS DE TERMoeLECTRICIDAD.

1. Proceedings of the Second International Conference on Thermoelectric Energy Conversion.

S. Balasubramanian & T.Rajagopalan: *'Compensation of Dead Time Effect by Anticipatory Controller in Thermoelectric Control Systems'*. Sesión II – 3

2. ETS Workshop '98 Madrid.

Proceedings 4<sup>th</sup> European Workshop on Thermoelectrics.

Universidad Pontificia COMILLAS. Madrid, SPAIN.

September 17-18<sup>th</sup>, 1998.

3. Seventh International Conference on Thermoelectric Energy Conversion.

The University of Texas at Arlington. March 16-18, 1988.

4. AIP Conference Proceedings 316

Thirteenth International Conference on Thermoelectrics.

Editors: B. Mathiprakashan, Patrick Heenan.

Kansas 1994

## LIBROS Y ARTICULOS.

5. Artículo: '*Effet Peltier: de la théorie à la pratique*'  
Electronique Applications nº 31. (pags 72-78).
6. Article: "*Destilador con células peltier*".  
Resistor Nº 28 Mayo 2001 .paginas 32-39.
7. Frank J.Blatt, Peter A. Schroeder, Carl L.Foiles, Denis Greig: '*Thermoelectric Power of Metals*'  
Plenum Press. New York 1976.

## GUIAS DE DISEÑO DEL FABRICANTE.

8. SERADHE: '*Sistemas de refrigeración termoelectrica. Guía de diseño*'.  
Marlow Industries, Inc.
9. ITI Ferrotec: '*Thermoelectric Products Catalog And Technical Reference Manual*'.  
International Thermoelectric, Inc.



## PÁGINAS WEB DE INTERES.

10. <http://www.ferrotec.com>
11. <http://www.its.com>
12. <http://www.marlow.com>
13. <http://www.melcor.com>
14. <http://www.tellurex.com>
15. <http://www.tetech.com>

## Anexo

## Anexo









